



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



Tecnológico Nacional de México

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO

**"LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO PARA EL DISEÑO DEL COLECTOR UBICADO
EN SANTA CRUZ TLAXCALA, HASTA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE TLATEMPAN,
USANDO GNSS Y METODOLOGÍA LIDAR EN SU APLICACIÓN. "**

TÍTULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFECIONAL.

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERÍA CIVIL**

PRESENTA:

Yael Rosete Cervantes

NOMBRE DEL ASESOR:

Ing. Hector Alejandro Muñoz Velazquez

APIZACO, TLAX., JUNIO 2026

Agradecimientos

Quiero agradecer al **Tecnológico Nacional de México, campus Apizaco**, por brindarme la formación académica y las herramientas necesarias para desarrollarme profesionalmente.

De manera especial, agradezco al **Ingeniero Héctor Alejandro Muñoz Velázquez**, por su acompañamiento, orientación y apoyo durante el desarrollo de este proceso. Su disposición y experiencia fueron fundamentales para alcanzar los objetivos planteados.

A mi familia, gracias por su apoyo incondicional, por motivarme a seguir adelante y por estar siempre presente en cada paso. Su confianza y cariño han sido clave en mi crecimiento.

Y finalmente, agradezco a la empresa **SAMAR**, por brindarme la oportunidad de realizar mis residencias, por el espacio para aprender y por la confianza depositada en mí para colaborar en proyectos reales.

Índice

Agradecimientos	2
Descripción de la empresa y del puesto o área del trabajo del estudiante	5
Introducción	6
Problemas a resolver	7
Objetivos	8
Objetivo general	8
Objetivos específicos	8
Antecedentes y Justificación	9
Necesidad de Reingeniería	9
Impacto Ambiental y Social.....	12
Enfoque Integral	15
Planificación Participativa y Consulta Ciudadana	15
Gestión Integrada del Recurso Hídrico	16
Sostenibilidad en Todas sus Dimensiones	17
Marco Teórico	20
Levantamiento Topográfico	22
Software Utilizado: CivilCAD y Agisoft Metashape	24
Ventajas y Desventajas de los Métodos Utilizados.....	25
Climatología	26
Métodos de Instalación de los Bancos de Nivel	28
Consideraciones Geoespaciales	31
Geografía de la Zona de Estudio	39
Uso del Suelo.....	41
Aspectos socioeconómicos	47
Metodología y Tecnología	50
¿Cómo los integramos en el levantamiento?.....	56
Localización Geográfica	56
Metodología del Levantamiento Topográfico	57
Planificación del Levantamiento.....	57
Control del Clima y Seguridad en Campo	61
Ejecución del Levantamiento	61
Preparación de los Equipos	62

Posicionamiento y Establecimiento de Puntos de Control	62
Vuelos del Dron y Captura de Imágenes Aéreas	63
Control de la Calidad de los Datos en Tiempo Real	65
Vuelos Adicionales y Ajustes en Campo.....	65
Procesamiento de Datos y Generación de Modelos.....	66
Procesamiento de Datos GNSS con CivilCAD	66
Procesamiento de Imágenes Aéreas con Agisoft Metashape	69
Integración de Datos GNSS y Dron para el Diseño del Colector.....	71
Validación y Verificación de Resultados	71
Métodos de Validación para Datos de Dron	72
Métodos de Validación Combinados: GNSS + Dron.....	73
Ajustes y Correcciones Post-Procesamiento	75
Análisis y Procesamiento de Datos	75
Preprocesamiento de Datos: Importación y Configuración de Software	76
Procesamiento de Datos GNSS: Ajustes y Modelado	76
Procesamiento de Datos de Dron: Fotogrametría y Modelado 3D.....	78
Integración de Datos GNSS y Dron: Fusionando Resultados	79
Generación de Productos Finales	79
Control de Calidad en el Proceso de Levantamiento	82
Métodos de Comparación y Reprocesamiento de Datos	85
Presentación Final de los Resultados.....	89
Resultados	94
Conclusiones.....	95
Competencias desarrolladas.....	96
Fuentes de información.....	97

Descripción de la empresa y del puesto o área del trabajo del estudiante.

La empresa SAMAR S.A. de C.V. destaca por su amplio enfoque en el sector de la construcción, abarcando desde la rehabilitación de inmuebles hasta la construcción total de proyectos arquitectónicos y civiles, siempre priorizando la implementación de nuevas tecnologías y softwares innovadores. Este enfoque permite generar un entorno armónico y eficiente para los procesos constructivos, asegurando calidad y precisión en cada etapa.

En mi rol como ingeniero topográfico, cuento con capacitación específica para operar equipos avanzados como el GNSS EYR. Este equipo incorpora tecnología de última generación, lo que nos permite realizar levantamientos topográficos de alta precisión. Al estar referenciado y conectado con una constelación de entre 32 y 46 satélites, se garantiza la obtención de datos confiables y exactos desde el inicio del proceso.

Adicionalmente, utilizamos drones equipados con tecnología LiDAR y sistemas de georreferencia para complementar los levantamientos topográficos. Esta integración tecnológica amplía significativamente nuestra capacidad de trabajo, optimizando los tiempos y mejorando la precisión de los resultados. El uso del dron nos permite cubrir grandes áreas y generar modelos tridimensionales detallados, reduciendo al mínimo los errores y maximizando la eficiencia.

Además de realizar levantamientos topográficos, desempeño la función de dibujante de planos, donde traduzco los datos obtenidos con el equipo GNSS y los drones en planos precisos y comprensibles. Este trabajo asegura que los responsables de los proyectos cuenten con representaciones gráficas claras y detalladas para tomar decisiones informadas.

Introducción

El presente proyecto integral propone la reingeniería y modernización del sistema de saneamiento que sirve a los municipios de Santa Cruz Tlaxcala, Amaxac de Guerrero, Contla de Juan Cuamatzi y Apetatitlán de Antonio Carvajal, con un enfoque central en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Tlatempan y la optimización de la red de colectores y emisores. Esta iniciativa de gran envergadura responde a la imperativa necesidad de transformar la gestión de las aguas residuales en esta zona clave de Tlaxcala, abordando una serie de desafíos interrelacionados que comprometen la eficiencia, la sostenibilidad y el impacto ambiental del sistema actual.

La justificación para esta reingeniería se fundamenta en la convergencia de factores críticos, incluyendo la creciente demanda derivada del crecimiento poblacional y la expansión urbana, las limitaciones de capacidad y la obsolescencia tecnológica de la infraestructura existente, los problemas de mantenimiento que afectan la operatividad y la calidad del tratamiento, y la necesidad de alinear el sistema con los estándares ambientales y las mejores prácticas internacionales.

Para lograr una transformación efectiva, el proyecto adopta un enfoque integral que abarca todas las etapas del ciclo del agua, desde la captación y conducción de las aguas residuales hasta su tratamiento, disposición final y potencial reutilización. Se prioriza la implementación de tecnologías de vanguardia que permitan optimizar el diseño, la construcción, la operación y el mantenimiento de la infraestructura, incluyendo el uso de sistemas de información geográfica (SIG), el Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) para levantamientos de alta precisión, drones para la generación de modelos digitales del terreno (MDT) y ortomosaicos, y software de modelado hidráulico para simular el comportamiento del sistema y optimizar su diseño.

Además de los aspectos técnicos, el proyecto considera las dimensiones sociales, económicas y ambientales del saneamiento, promoviendo la participación ciudadana, la equidad en el acceso a los servicios, la protección de la salud pública, la conservación de los recursos hídricos, la mitigación de la contaminación y el fomento del desarrollo sostenible en la región.

Este proyecto representa una inversión estratégica de alto impacto para el estado de Tlaxcala, que se alinea con los objetivos prioritarios del gobierno estatal en materia de desarrollo sustentable, gestión integral del agua, mejora de la calidad de vida de los ciudadanos y desarrollo regional equilibrado. Se anticipa que su implementación generará beneficios sustanciales y duraderos, incluyendo la mejora de la calidad del agua en los cuerpos receptores, la reducción de los riesgos para la salud pública, la promoción de la reutilización del agua tratada para fines

productivos, la protección de los ecosistemas acuáticos, el impulso al desarrollo económico y la creación de un entorno más saludable y próspero para los habitantes de Tlaxcala.

Problemas a resolver

El proyecto surge ante la necesidad de dar solución a diversos problemas que afectan actualmente a varias comunidades entre el municipio de Apizaco y la planta de tratamiento de aguas residuales ubicada en Tlantempan, Tlaxcala. Una de las principales problemáticas detectadas es la ausencia de un sistema integral de drenaje sanitario, lo cual ha derivado en descargas irregulares de aguas negras a cielo abierto, generando un serio riesgo para la salud pública y el medio ambiente. En muchas zonas, las aguas residuales son vertidas directamente en barrancas, terrenos baldíos o cuerpos de agua cercanos, provocando contaminación del suelo, proliferación de fauna nociva y afectaciones a los mantos freáticos.

Además, el crecimiento urbano acelerado en la región no ha sido acompañado por una planeación adecuada en materia de infraestructura sanitaria, lo que ha ocasionado que nuevas viviendas y colonias carezcan de conexiones formales a redes de drenaje. Esta situación no solo incrementa el impacto ambiental, sino que también genera conflictos sociales y limita el desarrollo ordenado de las localidades.

Otro problema crítico es la falta de conducción eficiente hacia la planta de tratamiento existente. Aunque la planta de Tlantempan cuenta con la capacidad para recibir y tratar un mayor volumen de aguas residuales, actualmente no existe un colector que integre de manera adecuada los flujos provenientes de todas las comunidades involucradas en este proyecto. Esto significa que el sistema actual opera de forma incompleta y que gran parte de las aguas negras generadas no están siendo tratadas, desaprovechando la infraestructura ya construida.

Sumado a lo anterior, las deficiencias en los pendientes y trazos actuales provocan encharcamientos e incluso inundaciones locales durante la temporada de lluvias, principalmente en zonas donde no se ha logrado controlar adecuadamente el flujo de las aguas residuales. Esta condición pone en riesgo viviendas, caminos y espacios públicos, afectando la calidad de vida de los habitantes.

Por todo lo anterior, el presente proyecto busca resolver de manera técnica y sustentable estos problemas, mediante la propuesta de un colector sanitario con diseño geométrico preciso y eficiente, apoyado en herramientas tecnológicas como el levantamiento topográfico con sistema GNSS y el uso de metodología LiDAR con dron, lo que garantiza mayor exactitud en la información y una propuesta constructiva viable

Objetivos

Objetivo general:

Desarrollar un levantamiento topográfico integral del trazo proyectado para un colector sanitario que abarca desde la ciudad de Apizaco hasta la planta de tratamiento de Tlantempan, utilizando tecnologías GNSS en modo RTK y fotogrametría aérea con dron DJI Mini 3, con el propósito de generar insumos cartográficos y modelos digitales del terreno que sirvan de base para el diseño óptimo de la infraestructura sanitaria.

Objetivos específicos:

Planificar y ejecutar un levantamiento topográfico en campo empleando un sistema GNSS de doble frecuencia, configurado para operar en modo RTK, con el objetivo de capturar coordenadas precisas de puntos clave a lo largo del trazo del colector.

Programar y realizar misiones aéreas mediante el dron DJI Mini 3, asegurando la cobertura total del área mediante vuelos automatizados que generen imágenes georreferenciadas de alta calidad con traslape suficiente para procesamiento fotogramétrico.

Procesar los datos GNSS y las imágenes aéreas capturadas utilizando el software CivilCAD y Agisoft Metashape, respectivamente, para generar productos topográficos tales como ortomosaicos, curvas de nivel, modelos digitales de elevación (MDE) y modelos digitales del terreno (MDT).

Integrar los productos generados por ambas tecnologías en un sistema de coordenadas común, realizando una georreferenciación precisa y validando la coherencia de los datos obtenidos en campo y por vía aérea.

Evaluar la precisión, ventajas y limitaciones del uso combinado de GNSS y drones en levantamientos topográficos lineales, considerando variables como el tipo de terreno, condiciones climáticas, obstáculos físicos y nivel de urbanización.

Elaborar planos, tablas y representaciones gráficas necesarias para el análisis hidráulico y el diseño técnico del colector, con el fin de facilitar su futura construcción y supervisión.

Antecedentes y Justificación

Necesidad de Reingeniería

La reingeniería integral del sistema de saneamiento en los municipios de Santa Cruz Tlaxcala, Amaxac de Guerrero, Contla de Juan Cuamatzi y Apetatitlán de Antonio Carvajal es una medida impostergable, motivada por una serie de deficiencias acumuladas que comprometen la funcionalidad, la sostenibilidad y el impacto ambiental del sistema actual. Estas deficiencias, que se detallan a continuación, exigen una transformación profunda y una inversión estratégica para garantizar un servicio de saneamiento eficiente y adecuado para la población.

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Tlatempan, núcleo del sistema de saneamiento, opera en la actualidad peligrosamente cerca de su límite de capacidad de diseño. Esta limitación impone serias restricciones y genera múltiples problemas:

Sobrecarga Hidráulica y Riesgo de Vertidos: Durante los periodos de mayor afluencia, que coinciden frecuentemente con la temporada de lluvias, la PTAR se ve sometida a una sobrecarga hidráulica significativa. Esto significa que el volumen de aguas residuales que llega a la planta excede su capacidad de tratamiento. Como consecuencia, la eficiencia del proceso de tratamiento disminuye drásticamente, y aumenta el riesgo de vertidos de aguas residuales sin tratar o parcialmente tratadas a los cuerpos receptores, como ríos y arroyos locales. Estos vertidos representan una grave amenaza para la calidad del agua, la salud pública y los ecosistemas acuáticos.

Limitación del Crecimiento Urbano e Industrial: La capacidad limitada de la PTAR actúa como un verdadero "cuello de botella" para el desarrollo urbano e industrial en los municipios. La falta de capacidad de tratamiento restringe la posibilidad de construir nuevas viviendas, establecer industrias o expandir actividades comerciales, ya que no se puede garantizar el tratamiento adecuado de las aguas residuales generadas por estas nuevas fuentes. Esto frena el potencial de crecimiento económico y desarrollo social de la región.

Ineficiencia del Proceso de Tratamiento y Contaminación: La sobrecarga hidráulica no solo aumenta el riesgo de vertidos, sino que también afecta directamente la eficiencia del proceso de tratamiento dentro de la PTAR. Cuando la planta opera por encima de su capacidad, los tiempos de retención de las aguas residuales en las diferentes etapas del tratamiento se reducen, lo que disminuye la remoción de contaminantes. Esto se traduce en un efluente de menor calidad, con concentraciones más altas de materia orgánica, sólidos suspendidos, nutrientes y

otros contaminantes, que se vierten a los cuerpos de agua, contribuyendo a su deterioro y afectando negativamente a la vida acuática y a los usos del agua.

Tecnología Obsoleta: Una parte significativa de la infraestructura del sistema de saneamiento, incluyendo la PTAR y las redes de colectores, se basa en tecnologías que se consideran obsoletas o que no cumplen con los estándares actuales de eficiencia, calidad y sostenibilidad. Esta obsolescencia tecnológica acarrea diversas consecuencias negativas:

Baja Eficiencia de Tratamiento e Incumplimiento Normativo: Las tecnologías obsoletas suelen tener una menor capacidad de remoción de contaminantes en comparación con las tecnologías modernas. Esto significa que el efluente de la PTAR puede no cumplir con los límites máximos permisibles de contaminantes establecidos en las normativas ambientales, lo que genera problemas de incumplimiento y sanciones, además de los daños ambientales.

Alto Consumo de Energía y Costos Operativos: Las tecnologías antiguas suelen ser menos eficientes en el consumo de energía, lo que se traduce en mayores costos operativos para el municipio. Además, el alto consumo de energía contribuye a las emisiones de gases de efecto invernadero, lo que va en contra de los objetivos de sostenibilidad y lucha contra el cambio climático.

Dificultad y Costos de Mantenimiento: La falta de disponibilidad de repuestos y la obsolescencia de los equipos dificultan las labores de mantenimiento y aumentan los costos de reparación. En muchos casos, es necesario recurrir a piezas fabricadas a medida o a proveedores especializados, lo que incrementa los tiempos de inactividad de los equipos y los costos asociados.

Limitada Automatización y Control: Las tecnologías antiguas suelen carecer de sistemas de automatización y control modernos, lo que reduce la eficiencia operativa y aumenta la dependencia del personal. Esto incrementa los costos laborales, los riesgos de errores humanos y la dificultad para optimizar los procesos de tratamiento.

Problemas de Mantenimiento: La falta de un programa de mantenimiento adecuado y oportuno ha provocado un deterioro progresivo de la infraestructura del sistema de saneamiento, lo que genera una serie de problemas:

Fallas Operativas e Interrupciones del Servicio: El deterioro de los equipos y las estructuras aumenta significativamente el riesgo de fallas operativas, lo que puede provocar interrupciones en el servicio de saneamiento y vertidos de aguas residuales sin tratar o parcialmente tratadas a los cuerpos receptores. Estas fallas pueden tener graves consecuencias para la salud pública y el medio ambiente.

Reducción de la Vida Útil y Necesidad de Reemplazo: La falta de mantenimiento acelera el proceso de deterioro de la infraestructura, reduciendo su vida útil y aumentando la necesidad de realizar reemplazos prematuros. Esto implica costos adicionales significativos para el municipio, ya que la construcción de nuevas instalaciones es mucho más costosa que el mantenimiento preventivo.

Aumento de los Costos de Operación y Pérdida de Eficiencia: El deterioro de los equipos reduce su eficiencia, lo que se traduce en un mayor consumo de energía y productos químicos para lograr el mismo nivel de tratamiento. Esto incrementa los costos de operación para el municipio y representa una pérdida de recursos económicos.

Riesgos para la Seguridad y la Salud: El deterioro de las estructuras, como colectores y emisores, puede generar riesgos para la seguridad y la salud de los trabajadores y la comunidad. Por ejemplo, las fugas en los colectores pueden contaminar el suelo y las aguas subterráneas, mientras que el deterioro de las instalaciones de la PTAR puede aumentar el riesgo de accidentes laborales.

Crecimiento Poblacional y Urbano: El crecimiento demográfico y la expansión urbana experimentados por los municipios en los últimos años han ejercido una presión creciente sobre el sistema de saneamiento, lo que ha generado nuevos desafíos:

Aumento de la Carga Contaminante y Sobrecarga de la PTAR: El aumento de la población y las actividades económicas en los municipios ha incrementado significativamente la carga contaminante que llega a la PTAR. Esto significa que la planta debe tratar un mayor volumen de aguas residuales, con una mayor concentración de contaminantes, lo que puede sobrepasarla y afectar su eficiencia, como se mencionó anteriormente.

Necesidad de Ampliación de la Red de Alcantarillado: La expansión urbana requiere la construcción de nuevas redes de alcantarillado para cubrir las nuevas áreas residenciales, comerciales e industriales. Esto implica la instalación de nuevos colectores y emisores, lo que aumenta la complejidad y los costos del sistema de saneamiento.

Presión sobre los Recursos Hídricos y Competencia por el Agua: El aumento de la demanda de agua potable para abastecer a la creciente población y las nuevas actividades económicas, junto con la generación de mayores volúmenes de aguas residuales, ejerce una mayor presión sobre los recursos hídricos de la región. Esto puede generar competencia por el agua entre diferentes usos (doméstico, agrícola,

industrial) y aumentar la importancia de una gestión eficiente y sostenible del recurso.

Alineación con Normativas: El sistema de saneamiento debe cumplir rigurosamente con las normativas ambientales y de salud pública vigentes, tanto a nivel estatal como federal, lo que implica:

Calidad del Efluente y Protección de los Cuerpos Receptores: El efluente de la PTAR debe cumplir con los límites máximos permisibles de contaminantes establecidos en las normativas, para proteger la calidad de los cuerpos receptores, como ríos, arroyos y lagos. Esto es fundamental para preservar la vida acuática, garantizar la disponibilidad de agua para otros usos y proteger la salud de la población.

Manejo Adecuado de Lodos y Residuos: Los lodos generados en el proceso de tratamiento de aguas residuales deben ser manejados, tratados y dispuestos de manera segura y ambientalmente adecuada, cumpliendo con las regulaciones correspondientes. Esto incluye la caracterización, estabilización, deshidratación, almacenamiento, transporte y disposición final de los lodos, minimizando los riesgos para la salud y el medio ambiente.

Seguridad y Salud Ocupacional y Bienestar de los Trabajadores: Las instalaciones y los procesos del sistema de saneamiento deben cumplir con las normas de seguridad y salud ocupacional para proteger a los trabajadores. Esto implica la implementación de medidas de prevención de accidentes, el uso de equipos de protección personal, la capacitación del personal y la creación de un ambiente de trabajo seguro y saludable.

Impacto Ambiental y Social

La situación actual del sistema de saneamiento en los municipios de Santa Cruz Tlaxcala, Amaxac de Guerrero, Contla de Juan Cuamatzi y Apetatitlán de Antonio Carvajal tiene consecuencias negativas significativas tanto para el medio ambiente como para la salud y el bienestar de la población. La reingeniería del sistema se justifica por la necesidad de mitigar estos impactos y generar beneficios sustanciales en ambas dimensiones.

Contaminación de Cuerpos de Agua: Una Amenaza para la Salud y los Ecosistemas

Uno de los problemas más graves derivados de la deficiencia del sistema de saneamiento es la contaminación de los cuerpos de agua de la región. Los vertidos de aguas residuales sin tratar o tratadas deficientemente a ríos, arroyos y otros cuerpos de agua generan una serie de impactos negativos:

Deterioro de la Calidad del Agua: La descarga de aguas residuales introduce una gran cantidad de contaminantes en los cuerpos de agua, incluyendo materia orgánica, nutrientes (nitrógeno y fósforo), patógenos (bacterias, virus, parásitos), metales pesados y sustancias químicas tóxicas. Esto deteriora la calidad del agua, haciéndola inadecuada para el consumo humano, la agricultura, la recreación y otros usos.

Eutrofización: El exceso de nutrientes en el agua (especialmente nitrógeno y fósforo) provoca la eutrofización, un proceso que estimula el crecimiento excesivo de algas y plantas acuáticas. Esto agota el oxígeno disuelto en el agua, afectando negativamente a la vida acuática (peces, invertebrados) y generando malos olores.

Riesgos para la Salud Humana: El consumo de agua contaminada o el contacto con ella durante actividades recreativas aumenta el riesgo de enfermedades gastrointestinales (diarrea, cólera, fiebre tifoidea), infecciones de la piel y otros problemas de salud. Los niños, los ancianos y las personas con sistemas inmunológicos debilitados son especialmente vulnerables.

Impacto en los Ecosistemas Acuáticos: La contaminación del agua afecta negativamente a la flora y fauna acuática, alterando el equilibrio ecológico de los cuerpos de agua. La falta de oxígeno, la toxicidad de las sustancias químicas y la alteración del hábitat pueden provocar la muerte de organismos acuáticos y la pérdida de biodiversidad.

Riesgos para la Salud Pública:

La falta de un sistema de saneamiento adecuado representa una amenaza directa para la salud pública en los municipios:

Enfermedades Transmitidas por el Agua: Como se mencionó anteriormente, el consumo de agua contaminada o el contacto con ella aumenta el riesgo de enfermedades transmitidas por el agua, como diarrea, cólera, fiebre tifoidea, hepatitis A y otras infecciones gastrointestinales. Estas enfermedades pueden causar morbilidad (enfermedad) y mortalidad (muerte), especialmente en los grupos de población más vulnerables.

Enfermedades Transmitidas por Vectores: La acumulación de aguas residuales y la falta de higiene favorecen la proliferación de vectores de enfermedades, como mosquitos (dengue, zika, chikungunya), moscas (diarrea, tracoma) y roedores (leptospirosis).

Impacto en la Calidad de Vida: La falta de saneamiento adecuado afecta negativamente la calidad de vida de los habitantes, generando malos olores, contaminación visual, proliferación de vectores de enfermedades y un entorno

insalubre. Esto puede tener efectos psicológicos y sociales, como estrés, ansiedad y estigmatización.

Degradación del Ecosistema

La contaminación del agua y la alteración de los ciclos naturales por la falta de saneamiento adecuado provocan la degradación de los ecosistemas:

Pérdida de Biodiversidad: La contaminación del agua y la destrucción de hábitats acuáticos provocan la pérdida de especies de flora y fauna, reduciendo la biodiversidad de los ecosistemas. Esto puede tener consecuencias negativas para la estabilidad y la resiliencia de los ecosistemas.

Alteración de los Ciclos Biogeoquímicos: La contaminación del agua altera los ciclos biogeoquímicos, como el ciclo del nitrógeno y el ciclo del fósforo, lo que puede tener efectos negativos en la productividad de los ecosistemas y en la calidad del suelo.

Reducción de los Servicios Ecosistémicos: Los ecosistemas saludables proporcionan una serie de servicios ecosistémicos esenciales para el bienestar humano, como la provisión de agua limpia, la regulación del clima, la polinización y la recreación. La degradación de los ecosistemas reduce la capacidad de estos para proporcionar estos servicios.

Impacto en la Calidad de Vida: Promoviendo el Bienestar Integral

La falta de saneamiento adecuado afecta negativamente la calidad de vida de los habitantes de los municipios en múltiples dimensiones:

Malos Olores y Contaminación Visual: La acumulación de aguas residuales y la falta de limpieza generan malos olores y contaminación visual, creando un entorno desagradable e insalubre.

Proliferación de Vectores de Enfermedades: Como se mencionó anteriormente, la falta de saneamiento favorece la proliferación de mosquitos, moscas y roedores, que transmiten enfermedades y afectan la salud pública.

Deterioro del Entorno Urbano: La falta de saneamiento adecuado deteriora el entorno urbano, creando un ambiente insalubre y poco atractivo para vivir, trabajar o visitar.

Impacto en el Desarrollo Social y Económico: La falta de saneamiento adecuado puede limitar el desarrollo social y económico de la región, al afectar la salud de la población, la productividad laboral y el atractivo turístico.

Limitaciones al Desarrollo:

La falta de infraestructura de saneamiento adecuada puede representar una limitación importante para el desarrollo sostenible de los municipios:

Obstáculo para la Inversión: Las empresas y los inversionistas pueden ser reacios a establecerse en una región que carece de infraestructura de saneamiento adecuada, ya que esto puede generar problemas de contaminación y riesgos para la salud de los trabajadores.

Restricciones al Turismo: La contaminación del agua y el deterioro del entorno pueden afectar negativamente el turismo, reduciendo el atractivo de la región para los visitantes.

Impacto en la Productividad: Las enfermedades relacionadas con la falta de saneamiento pueden reducir la productividad laboral y aumentar los costos de atención médica.

Insostenibilidad a Largo Plazo: Un desarrollo que no considera el saneamiento adecuado es insostenible a largo plazo, ya que genera daños ambientales y sociales que pueden socavar el progreso económico.

Enfoque Integral

El proyecto de reingeniería del sistema de saneamiento en los municipios de Santa Cruz Tlaxcala, Amaxac de Guerrero, Contla de Juan Cuamatzi y Apetatitlán de Antonio Carvajal se abordará con un enfoque integral y holístico, que reconoce la complejidad del sistema de saneamiento y la interdependencia entre sus diferentes componentes y dimensiones. Este enfoque garantiza que el proyecto no se limite a la construcción de infraestructura, sino que considere los aspectos sociales, económicos, ambientales y de gobernanza, buscando soluciones sostenibles y beneficiosas para la comunidad en su conjunto.

Planificación Participativa y Consulta Ciudadana

Involucramiento Activo de las Partes Interesadas: Se promoverá el involucramiento activo y la participación significativa de todas las partes interesadas relevantes en todas las etapas del proyecto, desde la planificación y el diseño hasta la implementación, la operación y el mantenimiento. Esto incluye a las comunidades locales, las autoridades municipales y estatales, los usuarios del sistema de

saneamiento (residenciales, comerciales, industriales), las organizaciones de la sociedad civil, los expertos técnicos y otros actores clave.

Mecanismos de Participación Ciudadana: Se establecerán y se utilizarán diversos mecanismos de participación ciudadana para garantizar que las voces y las perspectivas de las comunidades sean escuchadas y consideradas en la toma de decisiones. Estos mecanismos pueden incluir:

Consultas Públicas: Se realizarán consultas públicas en los municipios para presentar el proyecto, informar a la población, recoger opiniones, sugerencias y preocupaciones, y responder a preguntas.

Talleres Informativos: Se organizarán talleres informativos con grupos específicos de la población (por ejemplo, líderes comunitarios, representantes de sectores económicos, organizaciones ambientales) para discutir aspectos particulares del proyecto y obtener retroalimentación.

Grupos de Discusión: Se formarán grupos de discusión con representantes de diferentes sectores de la comunidad para analizar temas específicos en profundidad y buscar soluciones consensuadas.

Encuestas y Entrevistas: Se realizarán encuestas y entrevistas para obtener información sobre las necesidades, las prioridades y la satisfacción de los usuarios del sistema de saneamiento.

Mecanismos de Retroalimentación y Quejas: Se establecerán mecanismos claros y accesibles para que los ciudadanos puedan presentar sus comentarios, sugerencias, quejas o reclamos sobre el proyecto, y se garantizará que se les dé respuesta de manera oportuna y adecuada.

Transparencia y Acceso a la Información: Se garantizará la transparencia en todas las etapas del proyecto, proporcionando a la población acceso oportuno y completo a la información relevante, incluyendo los estudios técnicos, los diseños, los presupuestos, los cronogramas, los informes de avance y los resultados de las evaluaciones.

Gestión Integrada del Recurso Hídrico

Enfoque de Cuenca Hidrológica: El proyecto se enmarcará dentro de un enfoque de gestión integrada del recurso hídrico a nivel de cuenca hidrológica, reconociendo la interdependencia entre los diferentes usos del agua y la necesidad de una planificación y gestión coordinada. Se considerarán los flujos de agua, la calidad del

agua, los ecosistemas acuáticos y las interacciones entre las aguas superficiales y subterráneas.

Coordinación Intersectorial: Se promoverá la coordinación y la colaboración entre los diferentes sectores que utilizan el agua en los municipios, incluyendo el abastecimiento urbano, la agricultura, la industria, el turismo y la recreación. Se buscará minimizar los conflictos por el agua y maximizar los beneficios para todos los usuarios.

Consideración de la Disponibilidad y la Demanda: El proyecto considerará la disponibilidad actual y futura de agua en la región, así como la demanda de agua para los diferentes usos. Se buscará garantizar que el sistema de saneamiento no comprometa la disponibilidad de agua para otros usos esenciales y que contribuya a la gestión sostenible del recurso.

Protección de los Ecosistemas Acuáticos: El proyecto tendrá como objetivo proteger y restaurar los ecosistemas acuáticos, reduciendo la contaminación del agua, manteniendo los caudales ecológicos y preservando la biodiversidad. Se reconocerá el valor de los ecosistemas acuáticos para el bienestar humano y el equilibrio ecológico.

Sostenibilidad en Todas sus Dimensiones

Sostenibilidad Ambiental: Se priorizarán las soluciones que minimicen el impacto ambiental del sistema de saneamiento a lo largo de su ciclo de vida, desde la construcción hasta la operación y el mantenimiento. Esto implica:

Uso Eficiente de los Recursos: Se buscará el uso eficiente de los recursos naturales, como el agua, la energía y los materiales, minimizando el consumo y la generación de residuos.

Reducción de la Contaminación: Se priorizarán las tecnologías y los procesos que reduzcan la contaminación del agua, el aire y el suelo.

Conservación de la Biodiversidad: Se tendrán en cuenta los impactos del proyecto en la biodiversidad y se buscarán medidas para proteger y restaurar los ecosistemas.

Mitigación del Cambio Climático: Se considerarán las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al sistema de saneamiento y se buscarán medidas para reducirlas.

Sostenibilidad Económica: Se buscarán soluciones que sean económicamente viables y eficientes a largo plazo, considerando los costos de inversión, operación, mantenimiento y reposición. Esto implica:

Análisis Costo-Beneficio: Se realizarán análisis costo-beneficio para evaluar la viabilidad económica de las diferentes opciones y seleccionar la más eficiente.

Financiamiento Sostenible: Se explorarán diferentes opciones de financiamiento para el proyecto, buscando fuentes sostenibles y diversificadas.

Tarifas Justas y Equitativas: Se establecerán tarifas por los servicios de saneamiento que sean justas, equitativas y que permitan cubrir los costos de operación y mantenimiento del sistema.

Sostenibilidad Social: Se buscarán soluciones que sean socialmente aceptables y beneficiosas para la comunidad, considerando las necesidades, las prioridades y los valores de los diferentes grupos de población. Esto implica:

Equidad en el Acceso: Se buscará garantizar el acceso equitativo a los servicios de saneamiento para todos los ciudadanos, independientemente de su nivel socioeconómico, ubicación geográfica o condición de vulnerabilidad.

Mejora de la Salud Pública: Se priorizará la protección de la salud pública, reduciendo los riesgos asociados a la falta de saneamiento adecuado.

Generación de Empleo: Se buscará generar empleo local durante la construcción y la operación del sistema de saneamiento.

Fortalecimiento del Desarrollo Comunitario: Se promoverá el desarrollo comunitario a través de la educación sanitaria, la capacitación y el fortalecimiento de las organizaciones locales.

Sostenibilidad Institucional: Se fortalecerá la capacidad institucional para la gestión del sistema de saneamiento, incluyendo la planificación, la regulación, la supervisión, la operación y el mantenimiento. Esto implica:

Fortalecimiento de las Instituciones: Se apoyará el fortalecimiento de las instituciones responsables de la gestión del agua y el saneamiento a nivel municipal y estatal.

Desarrollo de Capacidades: Se promoverá el desarrollo de capacidades del personal técnico y administrativo involucrado en el sistema de saneamiento.

Transparencia y Rendición de Cuentas: Se garantizará la transparencia en la gestión del sistema y la rendición de cuentas a la sociedad.

Adaptación al Cambio Climático y Resiliencia

Análisis de Escenarios Climáticos: Se analizarán los escenarios de cambio climático proyectados para la región, incluyendo las posibles variaciones en las precipitaciones, la temperatura, los eventos extremos y otros factores climáticos relevantes.

Diseño Resiliente: Se diseñarán las infraestructuras del sistema de saneamiento para que sean resilientes a los posibles efectos del cambio climático, considerando la capacidad de adaptación, la flexibilidad y la redundancia.

Medidas de Adaptación: Se implementarán medidas de adaptación para reducir la vulnerabilidad del sistema de saneamiento al cambio climático, como la gestión de riesgos de inundación, la conservación del agua, la diversificación de las fuentes de energía y la promoción de la eficiencia energética.

Monitoreo y Evaluación: Se establecerán sistemas de monitoreo y evaluación para medir los efectos del cambio climático en el sistema de saneamiento y para evaluar la efectividad de las medidas de adaptación implementadas.

Marco Teórico

El diseño y construcción de sistemas de drenaje sanitario es un componente fundamental para el desarrollo urbano sostenible y la protección de la salud pública. Los colectores sanitarios son infraestructuras encargadas de conducir las aguas residuales desde zonas habitadas hasta su disposición final en plantas de tratamiento. Para garantizar su correcto funcionamiento, es necesario que el diseño geométrico considere elementos como el trazado, la pendiente, los diámetros, los materiales, la profundidad de excavación y las condiciones topográficas del terreno. Estos factores no pueden definirse con precisión sin una base técnica confiable, como lo es un levantamiento topográfico detallado.

Tradicionalmente, los levantamientos topográficos se realizaban con métodos convencionales como estación total o niveles ópticos, sin embargo, estos procesos pueden resultar lentos, costosos y, en ocasiones, poco precisos en terrenos amplios o de difícil acceso. En respuesta a estas limitaciones, se han incorporado herramientas tecnológicas avanzadas en el ámbito de la ingeniería civil, entre las que destacan el Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) y la tecnología LiDAR (Light Detection and Ranging).

El sistema GNSS permite obtener coordenadas geográficas precisas a través de la triangulación de señales emitidas por una constelación de satélites. En el contexto de los proyectos de infraestructura, su aplicación es esencial para establecer puntos de control, ubicar pozos de visita, definir alineamientos y levantar perfiles topográficos de alta precisión. El uso de receptores GNSS en modo estático o cinemático (RTK o PPK) proporciona datos georreferenciados confiables, útiles tanto para el diseño como para la ejecución del proyecto.

Por otro lado, la tecnología LiDAR, aplicada comúnmente mediante drones, consiste en emitir pulsos láser hacia la superficie del terreno y medir el tiempo que tarda en regresar la señal. Esta tecnología genera nubes de puntos tridimensionales que permiten construir modelos digitales del terreno (MDT), ortofotomapas y curvas de nivel con gran detalle. El LiDAR es particularmente útil en áreas con vegetación, edificaciones o pendientes abruptas, ya que puede penetrar la cobertura superficial y obtener datos del relieve real del suelo.

La combinación de GNSS y LiDAR representa una solución integral para la obtención de información topográfica precisa, rápida y eficiente. Mientras el GNSS garantiza la correcta georreferenciación de puntos específicos en campo, el LiDAR complementa con una visualización continua y detallada del terreno. Esta integración tecnológica resulta ideal para el diseño geométrico de colectores

sanitarios, ya que permite analizar las condiciones reales del terreno, trazar rutas óptimas, calcular pendientes naturales y reducir errores en obra.

En el caso específico del proyecto desarrollado en el municipio de Apizaco y comunidades aledañas, la aplicación de estas tecnologías permitió superar las limitaciones de acceso y falta de cartografía detallada, ofreciendo una solución viable y técnicamente sustentada para el planteamiento del colector sanitario. A partir de la información obtenida, se generaron planos, perfiles longitudinales y modelos digitales que sirvieron como base para el diseño geométrico, asegurando un trazo eficiente y adecuado a las condiciones reales del terreno.

En conclusión, el marco teórico de este proyecto se sustenta en los principios del diseño hidráulico de colectores, el uso de tecnologías geoespaciales avanzadas como GNSS y LiDAR, y la necesidad de integrar estas herramientas en proyectos de infraestructura sanitaria para garantizar precisión, eficiencia y sostenibilidad.

Levantamiento Topográfico

El levantamiento topográfico constituye una disciplina esencial en la ingeniería civil, agrimensura y geografía, ya que permite conocer con exactitud la configuración tridimensional del terreno. Este conocimiento es imprescindible para la planificación, diseño y ejecución de proyectos de infraestructura como caminos, puentes, edificaciones, redes hidráulicas y sanitarias, entre otros. Mediante el levantamiento topográfico, se obtienen coordenadas geoespaciales (X, Y, Z) de puntos específicos, con las cuales se generan representaciones gráficas y digitales del entorno físico.

Este tipo de trabajo ha evolucionado considerablemente. En un principio, los métodos eran completamente analógicos, apoyados en brújulas, cadenas métricas y niveles ópticos. Posteriormente, el desarrollo de instrumentos electrónicos como la estación total y los niveles automáticos incrementó la precisión y la eficiencia en campo. En la actualidad, la incorporación de tecnologías satelitales y sistemas autónomos ha revolucionado la práctica topográfica, brindando nuevas herramientas de alta resolución, eficiencia y versatilidad.

El Sistema de Navegación Global por Satélite (GNSS, por sus siglas en inglés) representa uno de los avances más trascendentales en el ámbito de la geolocalización. El precursor de estos sistemas fue el NAVSTAR GPS, desarrollado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, cuya puesta en funcionamiento ocurrió en la década de 1970 y fue abierto al uso civil en los años 80.

Posteriormente, otras potencias desarrollaron sus propios sistemas: GLONASS por la antigua Unión Soviética (hoy Rusia), Galileo por la Unión Europea, BeiDou por China, el sistema indio IRNSS (NavIC) y QZSS en Japón. Hoy en día, la mayoría de los equipos GNSS comerciales pueden recibir y procesar señales de varias constelaciones de manera simultánea, lo cual mejora significativamente la disponibilidad de satélites y la exactitud del posicionamiento.

En el ámbito topográfico, los GNSS se utilizan con técnicas de posicionamiento relativo, como el método RTK (Real-Time Kinematic) o PPK (Post-Processed Kinematic), que permiten alcanzar precisiones del orden de centímetros o incluso milímetros. Estas precisiones, imposibles con los primeros GPS de uso civil, hacen posible la aplicación directa de los GNSS en proyectos de alta precisión como la nivelación, el diseño vial y el trazado de redes sanitarias.

Los drones, o UAV (Unmanned Aerial Vehicles), representan una innovación disruptiva en el campo de la topografía moderna. Estos vehículos voladores, controlados remotamente o programados para realizar vuelos automáticos, están equipados con cámaras de alta resolución, sensores multiespectrales e incluso sistemas LIDAR en versiones avanzadas. Su función en topografía consiste en capturar imágenes aéreas del terreno para posteriormente procesarlas mediante técnicas de fotogrametría digital.

El modelo DJI Mini 3, utilizado en este proyecto, aunque ligero y de gama media, ha demostrado un desempeño notable para levantamientos de precisión cuando se complementa con puntos de control georreferenciados tomados con GNSS. Este dron es ideal por su portabilidad, facilidad de uso, bajo costo operativo y capacidad de capturar fotografías en alta resolución.

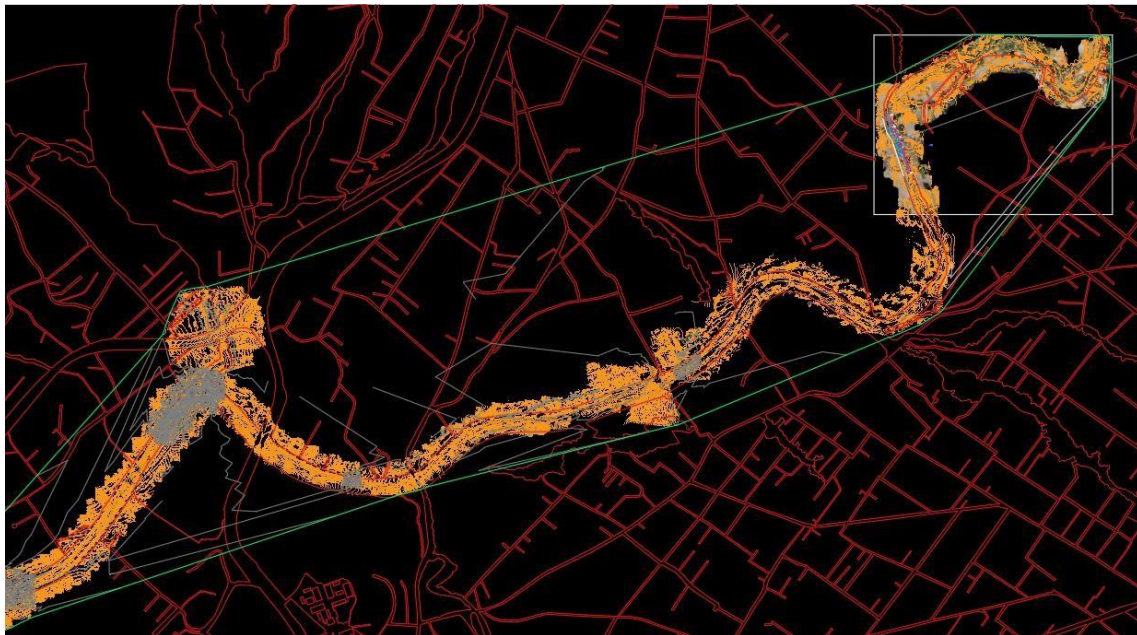
Los productos que pueden generarse a partir de un vuelo con dron incluyen ortofotografías, modelos digitales de superficie (DSM), modelos digitales del terreno (DTM), nubes de puntos, curvas de nivel, análisis de pendientes y volúmenes. Estos productos resultan fundamentales para el diseño preliminar y detallado de infraestructura, permitiendo diagnósticos visuales, análisis espaciales y cálculos volumétricos sin necesidad de intervención física directa en terreno.

Software Utilizado: CivilCAD y Agisoft Metashape

El procesamiento de datos topográficos demanda herramientas digitales especializadas. En este proyecto se recurrió a CivilCAD y Agisoft Metashape, dos soluciones ampliamente reconocidas en el sector.

CivilCAD, desarrollado en México y ampliamente utilizado en Latinoamérica, es un complemento de AutoCAD que permite importar datos de campo, generar planos topográficos, curvas de nivel, perfiles longitudinales y transversales, así como cálculos de volúmenes de corte y relleno. Su integración con plataformas CAD facilita la elaboración de planos ejecutivos y el análisis geométrico de las obras. En este proyecto, CivilCAD fue empleado para importar las coordenadas GNSS, ajustar el trazo del colector sanitario y generar representaciones en planta y perfil.

Agisoft Metashape es un software de fotogrametría que realiza procesamiento automatizado de imágenes aéreas mediante algoritmos de estructura desde el movimiento (SfM) y correlación densa. El flujo de trabajo típico en Metashape incluye la alineación de fotografías, construcción de la nube de puntos, generación del modelo 3D, ortorectificación y producción de modelos digitales del terreno. En este proyecto, se utilizaron imágenes capturadas por el DJI Mini 3, las cuales se alinearon y se georreferenciaron con precisión utilizando puntos tomados en campo con GNSS, logrando productos cartográficos de alta calidad.



Ventajas y Desventajas de los Métodos Utilizados

Ventajas del GNSS:

- Alta precisión en mediciones en tiempo real.
- Reducción del tiempo de levantamiento.
- Facilidad de integración con software de post-procesamiento.
- No requiere intervisibilidad entre puntos.
- Aplicación en cualquier tipo de terreno abierto.

Desventajas del GNSS:

- Dependencia de una línea clara de vista hacia los satélites (afectado por vegetación densa, edificios, cañadas).
- Necesidad de estaciones base o servicios de corrección para obtener precisiones centimétricas.
- Puede verse afectado por condiciones atmosféricas extremas o interferencias electromagnéticas.

Ventajas del uso de drones:

- Capacidad de cubrir grandes áreas en poco tiempo.
- Permite el acceso visual a zonas inaccesibles o peligrosas.
- Obtención de ortomosaicos y modelos 3D detallados.
- Mejora la seguridad del personal en campo.
- Bajo costo operativo en comparación con vuelos tripulados.

Desventajas del uso de drones:

- Sensibilidad a condiciones meteorológicas adversas (viento, lluvia, niebla).
- Limitación en autonomía de vuelo (duración de batería).
- Requiere conocimientos técnicos en fotogrametría y software de procesamiento.
- Legalmente regulado: se deben cumplir normativas de vuelo según el país.

Climatología

El área contemplada en este proyecto se caracteriza por presentar un clima templado subhúmedo, típico de la región centro-sur del altiplano mexicano. Esta condición climática influye directamente en los procesos hidráulicos de captación, conducción y tratamiento de aguas residuales, por lo que resulta esencial considerarla en la planeación del sistema.

Las precipitaciones se concentran principalmente entre los meses de mayo y octubre, periodo durante el cual se registra la mayor carga pluvial del año. En promedio, la zona recibe entre 900 y 1,200 mm de lluvia anual, aunque pueden ocurrir variaciones significativas en función de la altitud y la ubicación específica de cada municipio.

En cuanto a la temperatura, los valores medios anuales oscilan entre 12°C y 16°C, con mínimas que pueden descender por debajo de los 5°C durante el invierno, especialmente en zonas más elevadas como Santa Cruz Tlaxcala. Los veranos son templados y moderadamente cálidos, con máximas que rara vez superan los 28°C.

Los vientos predominantes provienen del noreste, lo cual también debe ser tomado en cuenta para el diseño de los sistemas de ventilación de los componentes hidráulicos, especialmente en las estaciones de bombeo o en zonas donde se prevé tratamiento biológico.

Esta información climática fue obtenida a partir de fuentes oficiales como el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y datos históricos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), complementados con observaciones de campo realizadas durante el levantamiento topográfico y visitas técnicas.

El análisis de la climatología es un componente esencial para el desarrollo del proyecto ejecutivo, ya que permite entender cómo las condiciones climáticas influirán en el diseño y funcionamiento de los sistemas hidráulicos. La recopilación de datos climáticos de la zona de estudio, que abarca los municipios de Santa Cruz Tlaxcala, Amaxac de Guerrero, Contla de Juan Cuamatzi y Apetatitlán de Antonio Carbajal, se realizó a partir de fuentes confiables como el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), así como estaciones meteorológicas locales y datos históricos.

La temperatura media anual en la región se encuentra en un rango moderado, con variaciones entre 17°C y 22°C, lo que indica una predominancia de climas templados subhúmedos, especialmente en áreas cercanas a la faldas del volcán La Malinche. Esta información es crucial para prever las demandas del sistema de saneamiento en términos de evaporación, temperatura del agua tratada y el tipo de materiales que se utilizarán en la infraestructura para garantizar su durabilidad.

Otro de los factores más relevantes en el diseño es la precipitación pluvial, que en la región tiene un comportamiento variable, con precipitaciones más intensas en la temporada de lluvias, que comprende de junio a septiembre. La media anual de precipitación es de aproximadamente 700 mm, con picos superiores en algunos años de hasta 1,200 mm. Estos datos fueron utilizados para calcular el gasto de aguas pluviales en los sistemas de colectores y emisores, así como para prever las posibles contingencias durante la temporada de lluvias intensas.

El viento y las velocidades máximas de ráfagas también fueron evaluados, ya que impactan en el diseño de las estructuras de tratamiento y en las técnicas de levantamiento con dron. El viento puede afectar el vuelo y precisión del dron, por lo que se programaron las actividades de levantamiento en los días de menor intensidad. Además, se consideraron radiación solar y humedad relativa para garantizar el comportamiento del tratamiento de aguas residuales, ya que estos factores inciden en la eficiencia de ciertos procesos de filtración y secado natural de aguas residuales.

Este análisis climático permitió ajustar las proyecciones del sistema de drenaje y saneamiento, especialmente en las zonas de mayor precipitación, donde se prevé un aumento significativo del caudal durante la temporada de lluvias. En estos tramos, se consideró la necesidad de diseñar estructuras de regulación adicionales, como tanques de almacenamiento y sistemas de bombeo que puedan hacer frente a los picos de agua pluvial y garantizar un flujo constante y controlado hacia la planta de tratamiento.

De esta manera, la información climática se integra no solo para la correcta dimensionación de la infraestructura, sino también para diseñar sistemas resilientes que operen de forma eficiente en diversas condiciones ambientales, asegurando la sostenibilidad y el cumplimiento de normas ambientales en el largo plazo.

Métodos de Instalación de los Bancos de Nivel

Los bancos de nivel se han establecido mediante el uso de equipos de nivelación geodésica y GNSS (Global Navigation Satellite System) para asegurar una alta precisión en su localización. En algunos casos, los bancos de nivel han sido marcados mediante puntos de referencia físicos, como monolitos o estacas permanentes, que servirán para futuras mediciones y para mantener la integridad del proyecto a lo largo del tiempo.

Distribución y Ubicación de los Bancos de Nivel

Los 12 bancos de nivel fueron ubicados a lo largo del colector en puntos clave, tomando en cuenta varios factores como las pendientes del terreno, las áreas de mayor variación en la elevación y los cruces importantes. Su ubicación está diseñada para ofrecer una cobertura completa del trazado, lo que permite realizar ajustes y correcciones en el diseño de la ciclovía en función de las elevaciones obtenidas.

Los bancos de nivel se distribuyen a intervalos regulares, con especial atención a las zonas con cambios significativos de altura. La información obtenida de estos bancos de nivel permite modelar con precisión el perfil longitudinal del terreno, facilitando el diseño de las pendientes y asegurando que no se presentarán obstáculos o dificultades en el recorrido de la ciclovía.

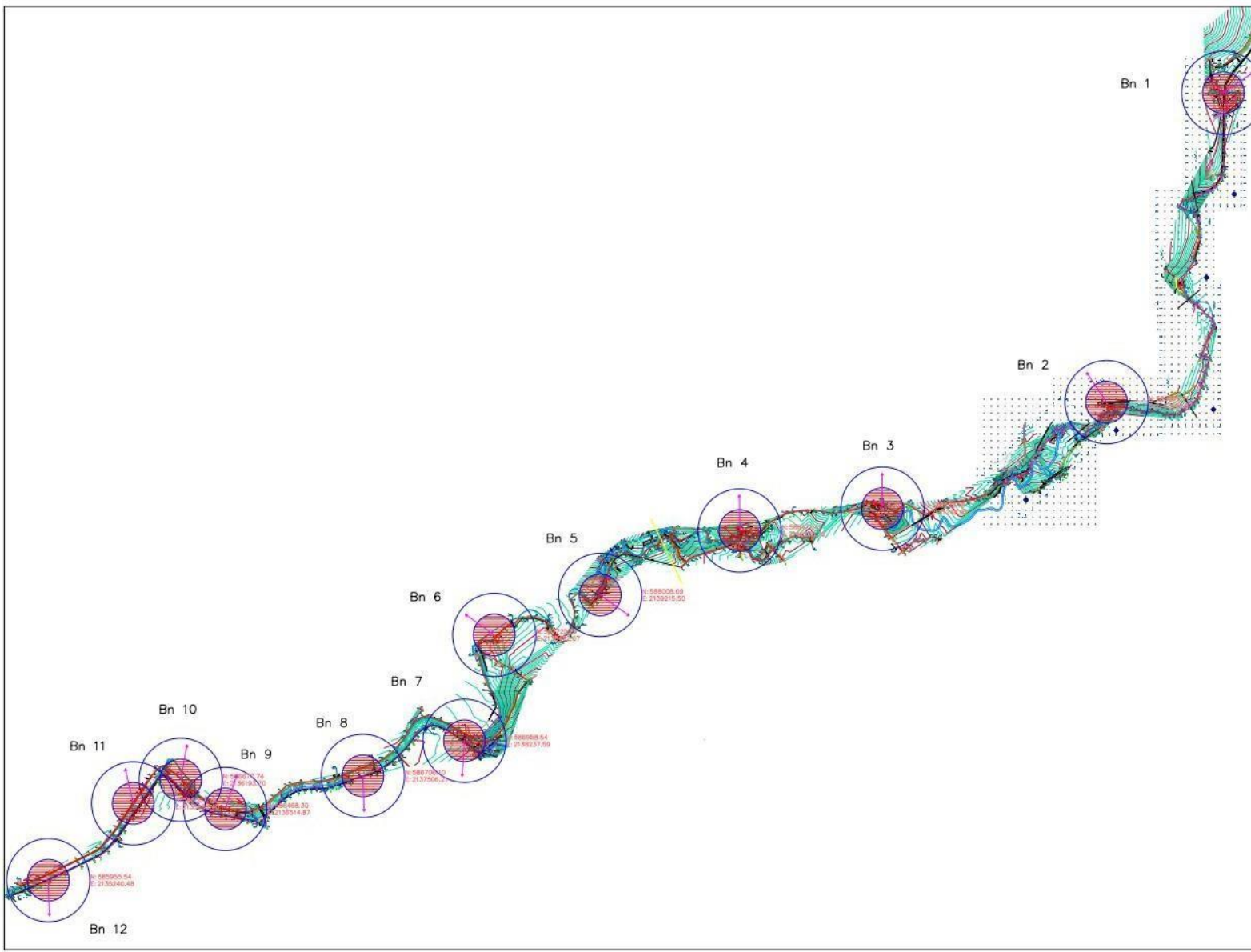
Ventajas del Uso de Bancos de Nivel

Precisión en el Diseño: El uso de bancos de nivel garantiza que el diseño de colector cumpla con las especificaciones de elevación, evitando problemas relacionados con el drenaje y la accesibilidad.

Monitoreo a Largo Plazo: Los bancos de nivel proporcionan un sistema de referencia a largo plazo que permite futuras mediciones y ajustes si fuera necesario, asegurando que el proyecto mantenga su estabilidad estructural.

Evaluación de Pendientes: La información proporcionada por los bancos de nivel permite evaluar las pendientes a lo largo del recorrido, lo cual es crucial para diseñar una ciclovía cómoda y segura para los usuarios.

Reducción de Errores: Al contar con puntos de referencia establecidos, se minimizan los posibles errores derivados de variaciones en las mediciones del terreno durante el levantamiento y el diseño.



MACROLOCALIZACIÓN

ESTADO DE TLAXCALA

• SANTA CRUZ TLAXCALA
• AMARAC DE GUERRERO
• COMITLA
• AXTEQUILAN

MACROLOCALIZACIÓN

ESTADO DE TLAXCALA

SIMBOLOGÍA

PROYECTO EJECUTIVO PARA LA RECONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA PLANTA COLECTORES Y EMISORES DEL MUNICIPIO DE AXTEQUILAN, LOCALIDADES VARIAS, MUNICIPIO DE SANTA CRUZ TLAXCALA, AMARAC DE GUERRERO, COMITLA DE JUAN GUAMÁN Y AXTEQUILAN DE ANTONIO GUERRERO.

ARQUITECTOS Y INGENIEROS S.C. DE C.V.

Localización general del trazo y descargas en imagen satelital.

PROYECTO: []

Gobernadora Constitucional del Estado de Tlaxcala

[]



Consideraciones Geoespaciales

Uso de Bancos de Nivel

Para el levantamiento topográfico de la ciclovía, se tomaron en cuenta 12 bancos de nivel, los cuales son puntos de referencia esenciales para garantizar una georreferenciación precisa y adecuada durante el proceso de levantamiento. Los bancos de nivel son fundamentales para establecer una base sólida en el modelo digital del terreno, permitiendo una correcta representación de las elevaciones y pendientes del terreno.



El uso de estos puntos de referencia ayuda a minimizar errores y garantiza que el trazado del colector siga las condiciones del terreno de manera precisa, lo que es vital para la estabilidad estructural y funcionalidad del proyecto.



La cobertura de la red de distribución de agua potable en la región se destaca por ser prácticamente total, según los datos obtenidos a partir de las visitas realizadas a las localidades de los municipios involucrados. En general, las autoridades locales reportan una cobertura del 100%, lo cual se respalda por la cantidad de fuentes de abastecimiento disponibles, así como por los numerosos tanques de regularización que aseguran el suministro constante. Además, se ha verificado que el mantenimiento de la infraestructura es adecuado, lo que contribuye a garantizar la eficiencia del servicio.

De acuerdo con los datos del INEGI del censo realizado en 2020, se confirma que la cobertura promedio de la red de agua potable en la zona es del 99.3%. Esta cifra refleja la efectividad de los esfuerzos por garantizar el acceso al agua en la región. A continuación, se presentan los porcentajes de cobertura por localidad:

La red de distribución de agua potable en la región se ha consolidado como uno de los servicios más robustos de los municipios involucrados, con cobertura que alcanza un promedio superior al 99% en todas las localidades visitadas. Esta alta cobertura no solo se debe a la infraestructura existente, sino también a la presencia de fuentes de abastecimiento diversificadas como pozos profundos, manantiales y sistemas de embalses que abastecen el sistema con una gran cantidad de agua. Estos sistemas se encuentran bien mantenidos, lo que permite un servicio continuo y eficiente.

Fuentes de abastecimiento:

Pozos profundos: Son una de las principales fuentes de abastecimiento en la mayoría de las localidades, y su mantenimiento ha sido una prioridad en la gestión del servicio de agua potable.

Manantiales: En zonas más rurales, los manantiales han sido aprovechados para abastecer áreas específicas donde los pozos no son rentables o accesibles.

Embalses y Tanques de regularización: Además de las fuentes de agua, la red incluye varios tanques de almacenamiento que actúan como tanques de regulación para equilibrar el suministro y garantizar la presión adecuada en toda la red.

Mantenimiento y mejora continua:
Los tanques de regularización permiten mitigar la variabilidad de los suministros, especialmente durante las épocas de sequía o alta demanda. La inversión constante en la modernización de la infraestructura y la reparación de fugas ha ayudado a que la red de distribución funcione de manera óptima. Se ha implementado un plan de mantenimiento preventivo, que incluye revisiones periódicas, limpieza de tanques y pozos, y el reemplazo de tuberías obsoletas.

Como se menciona, la red de distribución de agua potable en los municipios visitados tiene una cobertura muy alta, alcanzando un 99.3% de promedio, según el censo de 2020. El sistema se apoya en la gran cantidad de fuentes de abastecimiento localizadas en la zona, lo cual es crucial para sostener esta alta cobertura. Estas fuentes incluyen pozos profundos, manantiales, y embalses. El mantenimiento adecuado de los tanques de regularización también ha sido clave para asegurar la eficiencia del sistema, permitiendo una distribución estable.

Los municipios reportan que la infraestructura de agua potable está bien gestionada, con pocos problemas relacionados a la cobertura o desabasto. El porcentaje más bajo de cobertura lo reporta la localidad de Santa María Aquíáhuac en Contla de Juan Cuamatzi, con un 97.8%, lo que aún refleja un nivel significativo de cobertura.

Municipio	Localidad	% Cobertura Red Agua Potable
Contla de Juan Cuamatzi	Contla	99.5%
Contla de Juan Cuamatzi	San Felipe Cuauhtenco	99.5%
Contla de Juan Cuamatzi	Santa María Aquíáhuac	97.8%
Contla de Juan Cuamatzi	La Luz (Barrio)	99.1%
Amamaxac de Guerrero	Amamaxac de Guerrero	99.6%
Apetatitlán de Antonio Carvajal	Belén Atzitzimititlán	98.6%
Santa Cruz Tlaxcala	Santa Cruz Tlaxcala	99.5%
Santa Cruz Tlaxcala	Guadalupe Tlachco	99.4%
Santa Cruz Tlaxcala	Jesús Huitznáhuac	99.7%
Santa Cruz Tlaxcala	San Lucas Tlacoachcalco	99.9%
Santa Cruz Tlaxcala	San Miguel Contla	99.7%

Interpretación de los Datos:

La alta cobertura refleja el éxito de las políticas locales en garantizar el acceso al agua en casi todas las localidades. Sin embargo, Santa María Aquíahuac y Belén Atzitzimitlán presentan una cobertura levemente inferior, lo que podría ser motivo de investigaciones adicionales o ajustes en las infraestructuras existentes.

Red de Alcantarillado

Respecto al drenaje, las autoridades locales también reportan una cobertura notablemente alta en la red de alcantarillado. A pesar de que se ha alcanzado una alta cobertura, el INEGI señala que el porcentaje total de cobertura aún no alcanza el 100%, quedando en un 97.3% en promedio, con un pequeño margen de diferencia en comparación con la cobertura de agua potable.

Este pequeño déficit en la cobertura de la red de drenaje podría deberse a varios factores, entre los que se destacan:

Dificultades de infraestructura en zonas alejadas: En algunas localidades de difícil acceso, especialmente en las zonas rurales o de topografía complicada, se opta por soluciones alternativas como las fosas sépticas o letrinas, ya que la extensión de la red de alcantarillado resulta inviable o costosa.

Desafíos en la implementación urbana: En áreas de reciente desarrollo o en localidades que no cuentan con un crecimiento urbano planificado, la instalación de la infraestructura de drenaje podría estar en proceso o aún no haberse completado.

El sistema de alcantarillado presenta una cobertura ligeramente inferior al sistema de agua potable, alcanzando un 97.3% de cobertura en promedio. Esta diferencia se debe a varios factores, entre los que se incluyen:

Condiciones topográficas complicadas: Las zonas con relieves irregulares o áreas de difícil acceso dificultan la instalación de sistemas de drenaje convencionales. En estos casos, las soluciones de drenaje alternativo, como las fosas sépticas y letrinas, son más viables y aceptadas por la comunidad.

Áreas rurales dispersas: Muchas de las localidades más pequeñas, especialmente en las zonas rurales, no cuentan con la densidad de población suficiente para justificar una inversión en una red de alcantarillado convencional. En estas áreas, se opta por sistemas autónomos de tratamiento de aguas residuales, lo cual es una solución económica y funcional.

Manejo de aguas residuales:
El sistema de drenaje de la región está diseñado para recibir principalmente aguas

residuales domésticas, pero algunos municipios también enfrentan el desafío de recibir aguas pluviales en su red de drenaje, lo que puede generar problemas de saturación en los periodos de lluvias intensas.

En cuanto al alcantarillado, la cobertura es ligeramente inferior a la de la red de distribución de agua potable, con un promedio de 97.3%. Aunque muchas localidades han implementado sistemas de drenaje que cubren la mayoría de las zonas urbanas, aún existen áreas con topografía difícil o población dispersa, lo que dificulta la expansión de la infraestructura de alcantarillado. Es común que en las zonas rurales o aisladas se utilicen soluciones alternativas, como fosas sépticas o letrinas.

Los municipios que presentan menores porcentajes de cobertura de drenaje incluyen Santa María Aquihhuac (92.7%) en Contla de Juan Cuamatzi, y San Felipe Cuauhtenco (96.7%), lo que refleja las dificultades de implementación en áreas rurales o de difícil acceso.

Municipio	Localidad	% Cobertura Red Drenaje
Contla de Juan Cuamatzi	Contla	97.5%
Contla de Juan Cuamatzi	San Felipe Cuauhtenco	96.7%
Contla de Juan Cuamatzi	Santa María Aquihhuac	92.7%
Contla de Juan Cuamatzi	La Luz (Barrio)	96.9%
Amamax de Guerrero	Amamax de Guerrero	98.8%
Apetatitlán de Antonio Carvajal	Belén Atzitzimitlán	98.5%
Santa Cruz Tlaxcala	Santa Cruz Tlaxcala	98.6%
Santa Cruz Tlaxcala	Guadalupe Tlachco	95.9%
Santa Cruz Tlaxcala	Jesús Huitznáhuac	97.9%
Santa Cruz Tlaxcala	San Lucas Tlacoachcalco	97.7%
Santa Cruz Tlaxcala	San Miguel Contla	99.1%

El tema del saneamiento es crucial, ya que afecta tanto la salud pública como el ambiente. En la zona, se identificó que no todos los municipios tienen sistemas para el tratamiento de aguas residuales. En particular:

Santa Cruz Tlaxcala y Amaxac de Guerrero no cuentan con plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), lo que representa un desafío ambiental importante para estas localidades.

En contraste, los municipios de Contla de Juan Cuamatzi y San Pablo Apetatitlán sí cuentan con una PTAR, ubicada en la localidad de Tlatempa, la cual está en funcionamiento y gestiona el tratamiento de las aguas residuales de varias localidades circundantes.

Sin embargo, ciertas localidades como Belén Atzitzimitlán y varias en Contla de Juan Cuamatzi no están conectadas a este sistema de tratamiento, lo que hace necesario implementar soluciones adicionales, como el tratamiento local de aguas residuales o la instalación de sistemas autónomos de saneamiento.

El saneamiento en la región sigue siendo uno de los aspectos más críticos para mejorar la salud pública y el bienestar ambiental. A pesar de los esfuerzos realizados para mejorar la infraestructura de tratamiento de aguas residuales, aún existen importantes desafíos, especialmente en ciertas localidades rurales.

Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR):

Contla de Juan Cuamatzi y San Pablo Apetatitlán cuentan con PTARs que permiten tratar las aguas residuales antes de ser descargadas al medio ambiente, reduciendo así el riesgo de contaminación de los cuerpos de agua y mejorando la calidad del agua en las localidades cercanas.

Sin embargo, en municipios como Santa Cruz Tlaxcala y Amaxac de Guerrero, la ausencia de PTARs hace que las aguas residuales no sean tratadas adecuadamente. Esto incrementa la contaminación del suelo y riesgos sanitarios para las comunidades cercanas, que dependen de fuentes de agua no potables para consumo, lo que genera un riesgo a largo plazo para la salud pública.

Soluciones alternativas:

En las áreas sin acceso a tratamiento centralizado, se están implementando soluciones como las fosas sépticas y sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas a pequeña escala. Estos sistemas permiten que las familias gestionen el tratamiento de sus aguas residuales de manera independiente, aunque requieren un mantenimiento adecuado para evitar la contaminación.

El tema de saneamiento se enfrenta a desafíos significativos, ya que no todas las localidades cuentan con sistemas de tratamiento de aguas residuales. Santa Cruz

Tlaxcala y Amaxac de Guerrero no tienen instalaciones de tratamiento de aguas residuales, lo que incrementa el riesgo de contaminación de cuerpos de agua y problemas sanitarios. En contraste, Contla de Juan Cuamatzi y San Pablo Apetatitlán sí cuentan con PTARs (Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales), lo que contribuye a la mejora del ambiente y de la salud pública en esas zonas.

Algunas localidades como Belén Atzitzimitlán (en Apetatitlán) y varias en Contla de Juan Cuamatzi no están cubiertas por estas plantas de tratamiento, lo que obliga a los residentes a recurrir a sistemas alternativos de manejo de aguas residuales.

Obras Hidráulicas y Potabilización

En cuanto a la potabilización del agua, la zona no requiere de infraestructura especial para tratar el agua extraída de las fuentes de abastecimiento, ya que las fuentes no presentan dureza extrema, metales pesados o agentes químicos que deban ser eliminados. Esto simplifica los procesos de potabilización y hace que los costos asociados a la infraestructura de tratamiento sean menores.

Sin embargo, existe infraestructura hidroagrícola en algunas zonas, especialmente en el municipio de Santa Cruz Tlaxcala, que gestiona el abastecimiento de agua para riego. La explotación de los pozos agrícolas en localidades como Barrio El Alto y San Miguel Contla se combina con el abastecimiento de agua potable para estas comunidades, lo que ha sido considerado en el diseño y gestión del suministro hídrico de la región.

La infraestructura para potabilizar el agua extraída de las fuentes naturales no es necesaria en la región debido a que las fuentes de agua, como los pozos profundos y manantiales, no presentan niveles de dureza o contaminación significativos. Sin embargo, existen desafíos en relación con el uso del agua para otros fines, como la agricultura.

Infraestructura hidroagrícola:

En el municipio de Santa Cruz Tlaxcala, existe una infraestructura hidroagrícola importante que es utilizada principalmente por ejidatarios para el riego agrícola. Los pozos de explotación agrícola en localidades como Barrio El Alto y San Miguel Contla también sirven como fuente de abastecimiento para el consumo humano en esas áreas, lo que representa una combinación dual de uso del agua.

Aunque la mayor parte de la infraestructura hidráulica está enfocada en el abastecimiento de agua potable, el uso agrícola ha sido considerado en el diseño de la red y en la distribución de los pozos, lo que permite un uso equilibrado del recurso hídrico.

En cuanto a infraestructura hidráulica, no se presenta una necesidad crítica de potabilización del agua en la región, ya que las fuentes de agua no contienen contaminantes significativos como metales pesados o agentes químicos dañinos. Sin embargo, existen algunas infraestructuras hidroagrícolas dedicadas al riego agrícola, principalmente en el municipio de Santa Cruz Tlaxcala. En algunas localidades, como Barrio El Alto y San Miguel Contla, los pozos agrícolas también sirven como fuente de abastecimiento para el agua potable.

Aunque la explotación de los pozos de uso agrícola es relevante para el abastecimiento en estas localidades, su influencia es limitada en comparación con el sistema de abastecimiento principal de agua potable.

Geografía de la Zona de Estudio

Relieve

La región de estudio está ubicada en una zona que presenta una topografía variada, con un predominante relieve accidentado en las áreas de mayor elevación y algunas zonas con terreno plano en las áreas más bajas. Se distinguen principalmente terrenos montañosos, sobre todo hacia las partes más elevadas, y valles intermontanos que ofrecen un terreno más adecuado para el asentamiento humano y la agricultura.

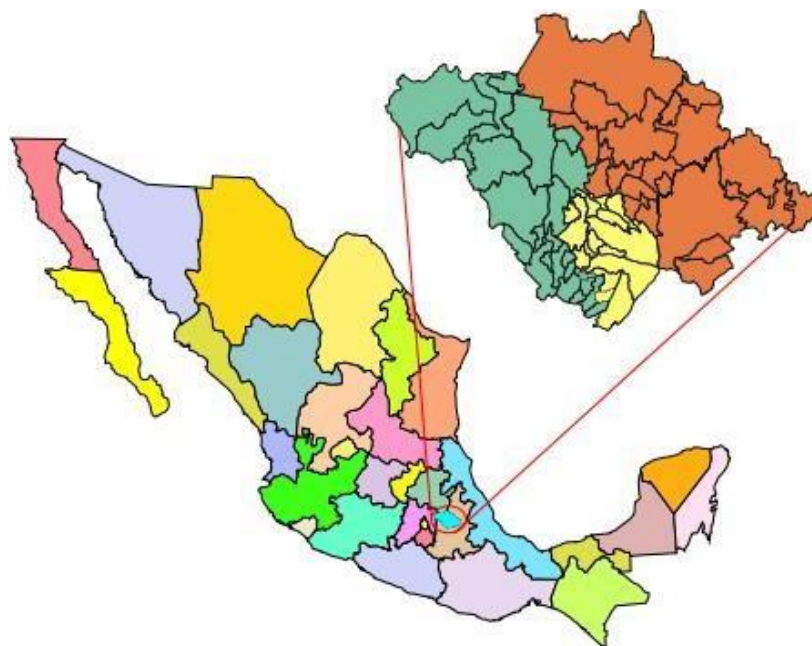
Montañas: En las zonas de mayor altitud, las formaciones montañosas pueden dificultar la construcción de infraestructuras y la expansión de la red de servicios. Estos terrenos escarpados requieren consideraciones especiales en términos de cimentación y drenaje, debido a la alta erosión del suelo y la posibilidad de deslizamientos de tierra.

Valles y Llanuras: Las áreas situadas en valles ofrecen un terreno más estable y llano, lo que facilita la expansión urbana y la construcción de infraestructuras, como la red de distribución de agua potable y alcantarillado. Además, estas zonas son más aptas para el desarrollo agrícola.

Clima

La región tiene un clima templado con temperaturas moderadas durante todo el año, lo cual es beneficioso para el desarrollo urbano y rural. La mayor parte de la zona experimenta una temperatura media anual que varía entre los 16°C y 22°C. Sin embargo, las zonas más altas pueden experimentar temperaturas más frescas, y algunas áreas pueden llegar a ser más frías durante el invierno.

Precipitación: La región recibe una cantidad moderada de precipitaciones anuales, lo que influye en los proyectos de drenaje y tratamiento de aguas residuales. La temporada de lluvias puede generar desafíos relacionados con la escorrentía superficial, la erosión del suelo y el manejo adecuado del agua en las zonas bajas y áreas urbanas.

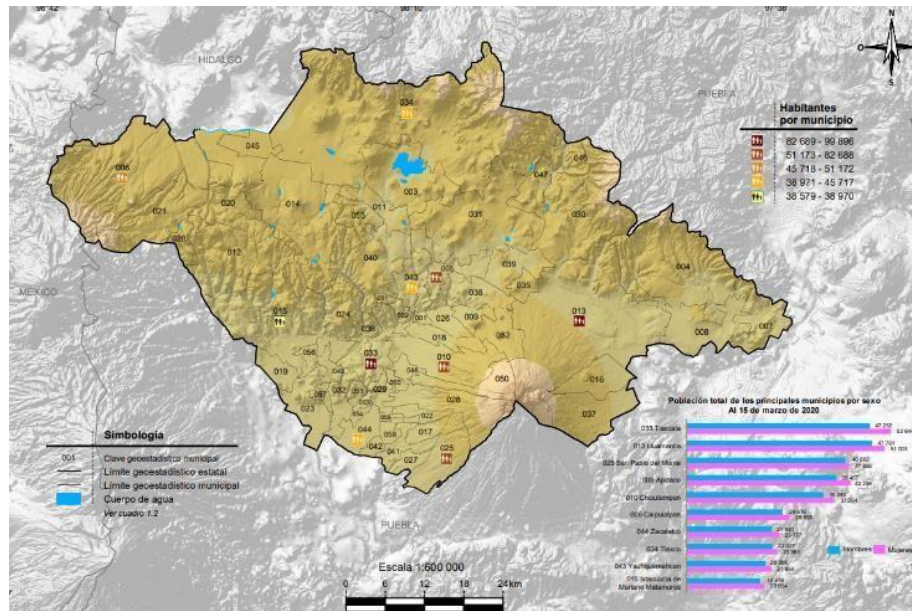


Hidrografía

La región cuenta con varios ríos y manantiales que proporcionan las fuentes de agua para consumo humano y actividades agrícolas. Sin embargo, la geografía de la zona puede presentar algunos retos en cuanto a la distribución del agua, debido a la altitud y la ubicación de los cuerpos de agua.

Ríos y Arroyos: La cuenca hidrográfica que atraviesa la región está compuesta por ríos de caudal medio y pequeño, que pueden ser aprovechados para la agricultura o como fuentes alternativas de agua. No obstante, en algunas áreas la contaminación de estos cuerpos de agua puede afectar la calidad del agua disponible.

Manantiales y Pozos: Muchos de los poblados dependen de manantiales locales o pozos profundos para el abastecimiento de agua potable. La existencia de estos recursos naturales influye positivamente en la disponibilidad de agua en zonas rurales, aunque su gestión requiere una infraestructura adecuada.



Uso del Suelo

El uso de suelo en la zona de estudio está diversificado, con una mezcla de zonas urbanas, rurales y agrícolas. Las áreas más urbanizadas se encuentran en las partes bajas y en los valles, mientras que las zonas más altas están destinadas principalmente a actividades agrícolas y conservación ambiental.

Zonas urbanas: Las ciudades y localidades más grandes están concentradas en áreas planas, lo que facilita el asentamiento humano y la construcción de infraestructura.

Zonas rurales y agrícolas: Las áreas en las montañas y valles cercanos se dedican principalmente a la agricultura, con cultivos como maíz, frijol, y hortalizas. La agricultura está muy influenciada por la topografía, por lo que el uso de sistemas de riego es común en ciertas áreas.

Desafíos Geográficos

Los principales desafíos geográficos que presenta esta región para el desarrollo de infraestructuras son:

Accesibilidad y Terrenos Inestables: Las áreas más altas y accidentadas pueden presentar dificultades de acceso, especialmente durante la temporada de lluvias. Esto afecta tanto a la expansión de redes de servicios como la construcción de infraestructura, ya que se requiere el uso de maquinaria especializada.

Deslizamientos y Erosión: Las zonas con pendientes pronunciadas son propensas a deslizamientos de tierra y erosión. Esto puede comprometer la estabilidad de la infraestructura, particularmente en carreteras y caminos de acceso.

Aprovechamiento de Recursos Hídricos: Aunque existen fuentes de agua cercanas, la gestión de recursos hídricos es crucial, especialmente en las zonas más alejadas. La distribución de agua en las áreas rurales y de difícil acceso puede ser costosa, por lo que se opta por soluciones alternativas.

Esta zona se encuentra dentro de la Provincia Geológica del Eje Neovolcánico Transversal, una franja tectónicamente activa que cruza el centro del país y que se caracteriza por su origen volcánico reciente (Cenozoico tardío).

Origen Volcánico

El área está dominada por materiales piroclásticos y rocas ígneas extrusivas (principalmente andesitas, basaltos y dacitas).

Estas formaciones provienen de la actividad del volcán La Malinche, ubicado al sureste de la región, que ha influido notablemente en la conformación geológica.

El suelo se compone, en gran parte, de cenizas volcánicas consolidadas, toba volcánica y materiales fragmentarios arrastrados por procesos erosivos.

2. Formaciones Geológicas Comunes

Toba volcánica: Depósitos de ceniza compactada, de color claro, permeables en algunos casos.

Basalto y andesita: Rocas duras que pueden encontrarse en zonas más profundas o afloramientos rocosos.

Pumita: Fragmentos volcánicos ligeros, típicos de regiones cercanas a conos volcánicos.

3. Estructura del Subsuelo

El subsuelo está compuesto por capas intercaladas de cenizas, arenas, limos y arcillas, lo cual influye en la permeabilidad y en la capacidad de infiltración de agua.

Algunas zonas presentan fracturas volcánicas antiguas que hoy funcionan como acuíferos locales, especialmente donde el basalto está fisurado.

4. Sismicidad

Aunque la región no es de alta sismicidad comparada con otras partes del país, su ubicación en el Eje Neovolcánico la hace sísmicamente activa en baja magnitud. La mayoría de los eventos registrados son superficiales y de origen tectónico.

5. Aptitud del Terreno

Por la naturaleza de los suelos volcánicos (generalmente sueltos y con buena capacidad de filtración), la región es favorable para la agricultura y el asentamiento urbano.

Sin embargo, en zonas de pendiente pronunciada (como algunos puntos al norte de Santa Cruz Tlaxcala), existe riesgo de deslizamientos superficiales, especialmente en temporada de lluvias intensas.

6. Consideraciones para Infraestructura

Las condiciones geológicas son favorables para cimentaciones superficiales en zonas urbanizadas, aunque se recomienda hacer estudios de mecánica de suelos debido a la variabilidad estratigráfica.

Los depósitos de ceniza pueden tener alta porosidad y baja resistencia, lo cual debe considerarse en obras hidráulicas o viales.

La región de estudio se encuentra dentro de la provincia fisiográfica conocida como el Eje Neovolcánico Transversal, una zona de gran importancia geológica que se extiende a lo largo del centro del país y que se caracteriza por una intensa actividad volcánica ocurrida principalmente durante el periodo Cenozoico. Esta franja geológica alberga una gran cantidad de volcanes activos e inactivos, entre los que destacan el Popocatepetl, el Iztaccíhuatl, el Cofre de Perote y, de manera especial para esta región, el volcán La Malinche o Matlalcuéyetl, cuya actividad geológica pasada tuvo una fuerte influencia en la conformación del relieve y el subsuelo de los municipios en estudio.

El origen predominantemente volcánico de la zona ha dado lugar a una geología compuesta por una variedad de rocas ígneas extrusivas. Entre los materiales más comunes se encuentran las andesitas, basaltos, lavas porfídicas, tobas volcánicas y piroclastos, depositados a lo largo de millones de años por sucesivas erupciones. Estos materiales conforman la base litológica de la mayoría del subsuelo regional, lo cual tiene importantes implicaciones tanto para el comportamiento estructural del terreno como para la infiltración y almacenamiento de agua en el subsuelo.

Además, estas rocas suelen tener una buena capacidad portante, lo que las hace adecuadas para soportar diversas obras de infraestructura, como caminos, edificaciones o instalaciones hidráulicas.

Asimismo, en los valles y zonas bajas cercanas a los márgenes de las barrancas o corrientes de agua, se han identificado depósitos aluviales y coluviales más recientes, compuestos por arenas, limos, arcillas y gravas, los cuales provienen de procesos de erosión y transporte de materiales. Estos suelos más blandos y heterogéneos requieren atención especial cuando se planean obras de ingeniería, ya que pueden presentar variaciones importantes en su resistencia y comportamiento ante cargas.

Una característica relevante de esta región es la influencia tectónica que ha moldeado el relieve, generando fallamientos y fracturas en el subsuelo, especialmente en las cercanías del volcán La Malinche. Si bien en la actualidad no se registran movimientos sísmicos significativos con frecuencia, la presencia de estas estructuras tectónicas pasadas puede influir en el escurrimiento subterráneo, la estabilidad de taludes y la localización de acuíferos.

Por último, es importante mencionar que el tipo de geología de esta zona también impacta en la calidad del agua subterránea, ya que las rocas volcánicas porosas permiten la recarga natural de los acuíferos, aunque en algunas zonas puede haber presencia de materiales que alteran ligeramente las características físico-químicas del agua, como la dureza o el contenido de minerales disueltos.

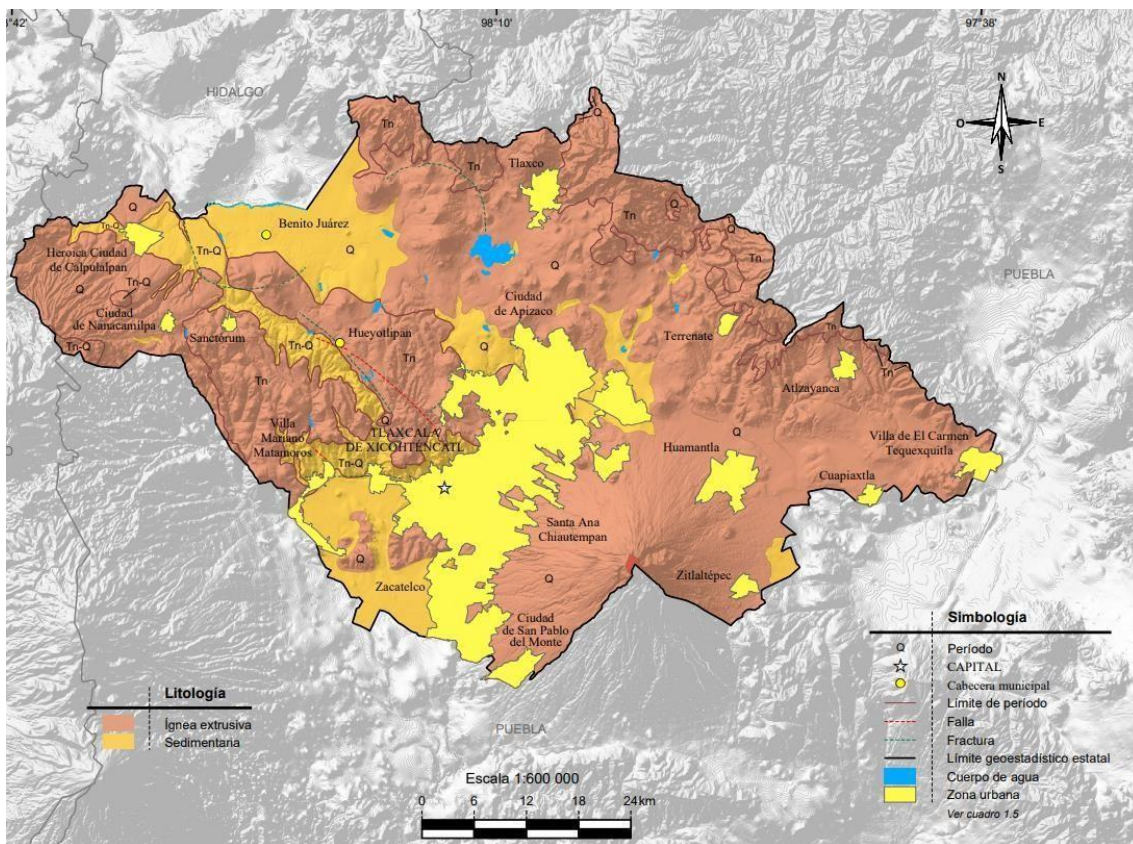
Fisiografía y morfología del área de estudio, que comprende los municipios de Contla de Juan Cuamatzi, Santa Cruz Tlaxcala, Amaxac de Guerrero y Apetatitlán de Antonio Carvajal, ubicados en el estado de Tlaxcala:

Desde el punto de vista fisiográfico, la zona de estudio se localiza dentro de la provincia del Eje Neovolcánico Transversal, una región geológicamente activa caracterizada por un relieve irregular, con altiplanicies, sierras, conos volcánicos y barrancas. Esta provincia constituye una de las franjas montañosas más importantes del país y actúa como una división natural entre el norte árido y el sur húmedo de México. En el contexto regional, la fisiografía está fuertemente dominada por la presencia del volcán La Malinche, cuya altitud superior a los 4,400 metros sobre el nivel del mar (msnm) influye directamente en el clima, la hidrología y la configuración topográfica de los municipios aledaños.

El relieve del área se clasifica como accidentado y montañoso en las zonas altas, con pendientes pronunciadas y valles estrechos, y como ligeramente ondulado o plano en las zonas intermedias y bajas, especialmente en áreas urbanizadas o agrícolas. Las cotas altimétricas en esta región varían aproximadamente entre los

2,300 y los 2,800 msnm, lo cual genera una serie de microclimas y diferencias notables en la cobertura vegetal y el uso del suelo. Este relieve influye también en los procesos de escurrimiento superficial, facilitando la formación de barrancas, escurrimientos temporales y zonas de concentración pluvial.

En cuanto a su morfología, el territorio presenta una serie de elementos característicos que reflejan su origen volcánico y su evolución geomorfológica. Uno de los aspectos más destacados es la presencia de lomas alargadas y colinas suaves que representan antiguos flujos de lava y depósitos de ceniza volcánica ya erosionados. Estas formas del relieve suelen presentar suelos más fértiles, lo que ha favorecido el asentamiento humano y la actividad agrícola. Asimismo, se observan planicies aluviales y terrazas fluviales formadas por la acción de arroyos y corrientes intermitentes, que modelan el terreno en las zonas más bajas y contribuyen a la acumulación de sedimentos.

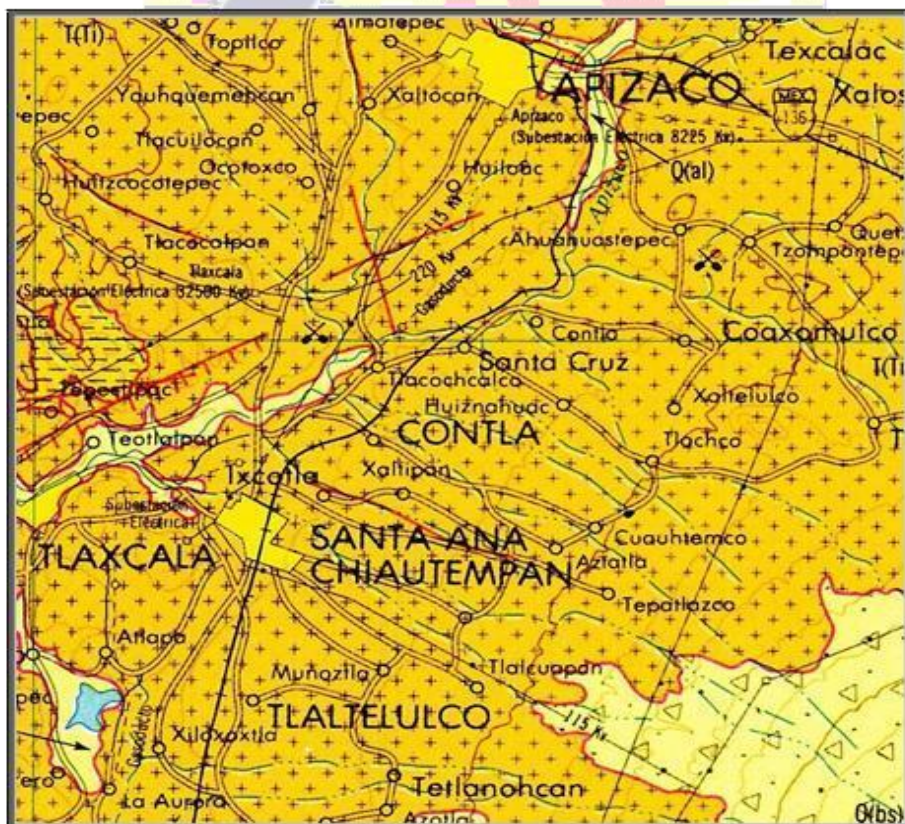


Las barrancas y quebradas son formas muy comunes en esta región, generadas por la erosión hídrica sobre materiales volcánicos poco consolidados. Estas estructuras no solo determinan la morfología local, sino que también representan zonas de riesgo en cuanto a deslaves o escurrimientos súbitos en temporada de lluvias. Algunas de estas barrancas sirven además como corredores naturales para fauna y como conductos para drenaje pluvial.

Cabe mencionar que, debido a la morfología diversa y a las diferencias altitudinales, se observa también una gran heterogeneidad en los usos del suelo y en la distribución de la infraestructura urbana. Las zonas más elevadas y con mayor pendiente tienden a estar menos urbanizadas y con menor densidad poblacional, mientras que las zonas planas o suavemente onduladas han sido ocupadas por asentamientos humanos, vialidades y desarrollos agrícolas o comerciales.

Material común	90 %
Roca	10 %

Sobretudo la roza se presenta en zonas altas como es la localidad de San Miguel Contla en el municipio de Santa Cruz Tlaxcala.



Aspectos socioeconómicos

Amaxac de Guerrero

Amaxac de Guerrero es un municipio que, según datos de 2020, cuenta con una población de aproximadamente 16,003 habitantes, con una ligera mayoría femenina (51.6%) sobre la masculina (48.4%) . La principal actividad económica de la región es la agricultura, destacando el cultivo de maíz, frijol y haba verde. Además, se practica la ganadería, con cría de ganado bovino, porcino, avicultura y apicultura, así como la silvicultura, con producción rural de actividad forestal y programas de reforestación debido a la fuerte erosión de los bosques.

En términos de pobreza, en 2020, el 43.1% de la población se encontraba en situación de pobreza moderada y el 5.72% en pobreza extrema. Las principales carencias sociales identificadas fueron el acceso a la seguridad social, servicios de salud y alimentación

un municipio ubicado en el centro del estado de Tlaxcala. Según datos de 2023, la población del municipio es de aproximadamente 16,000 habitantes. La economía local se basa principalmente en la agricultura, destacando el cultivo de maíz, frijol y haba verde, así como la ganadería, con cría de ganado bovino, porcino, avicultura y apicultura. Además, se practica la silvicultura, con producción rural de actividad forestal y programas de reforestación debido a la fuerte erosión de los bosques.

En términos de pobreza, en 2023, el 43.1% de la población se encontraba en situación de pobreza moderada y el 5.72% en pobreza extrema. Las principales carencias sociales identificadas fueron el acceso a la seguridad social, servicios de salud y alimentación. El municipio ha implementado programas para mejorar la infraestructura básica y los servicios públicos, buscando reducir estas carencias y mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

Apetatitlán de Antonio Carvajal

Apetatitlán de Antonio Carvajal, con una población de 16,003 habitantes en 2020, presenta un panorama económico centrado en la industria manufacturera y la construcción. En cuanto a la pobreza, el 37% de la población se encontraba en situación de pobreza moderada y el 5.82% en pobreza extrema. Las principales carencias sociales fueron el acceso a la seguridad social, servicios de salud y alimentación.

situado en la región central de Tlaxcala. En 2023, la población del municipio era de aproximadamente 16,000 habitantes. La economía local está centrada en la agricultura, con cultivos de maíz, frijol y hortalizas. Además, se lleva a cabo la

ganadería, especialmente la cría de ganado bovino y porcino. El municipio también ha experimentado un proceso de urbanización, con un crecimiento en el sector comercial y de servicios.

En cuanto a la pobreza, en 2023, el 37% de la población se encontraba en situación de pobreza moderada y el 5.8% en pobreza extrema. Las principales carencias sociales fueron el acceso a la seguridad social, servicios de salud y alimentación. El municipio ha implementado proyectos para mejorar la infraestructura urbana, los servicios públicos y la calidad de vida de sus habitantes.

Contla de Juan Cuamatzi

Contla de Juan Cuamatzi, con una población de 38,579 habitantes en 2020, ha mostrado un crecimiento poblacional del 9.96% respecto a 2010 . La economía del municipio se basa en la agricultura, destacando la producción de maíz, frijol y haba verde, así como la ganadería, con cría de ganado bovino, porcino, avicultura y apicultura. Además, se practica la silvicultura, con producción rural de actividad forestal y programas de reforestación debido a la fuerte erosión de los bosques.

En términos de pobreza, en 2020, el 43.1% de la población se encontraba en situación de pobreza moderada y el 5.72% en pobreza extrema. Las principales carencias sociales identificadas fueron el acceso a la seguridad social, servicios de salud y alimentación

Santa Cruz Tlaxcala

Santa Cruz Tlaxcala, con una población de 5,845 habitantes en 2020, presenta una economía diversificada que incluye la agricultura, ganadería, comercio y servicios. El municipio también ha desarrollado un sector turístico, aprovechando sus atractivos naturales, edificaciones históricas y arquitectónicas, lo que ha contribuido al desarrollo económico local .[Ecured](#)

En cuanto a la pobreza, en 2020, el 43.1% de la población se encontraba en situación de pobreza moderada y el 5.72% en pobreza extrema. Las principales carencias sociales fueron el acceso a la seguridad social, servicios de salud y alimentación.

Santa Cruz Tlaxcala es un municipio ubicado en el estado de Tlaxcala. En 2023, la población del municipio era de aproximadamente 5,800 habitantes. La economía local está centrada en la agricultura, con cultivos de maíz, frijol y hortalizas. Además,

se lleva a cabo la ganadería, especialmente la cría de ganado bovino y porcino. El municipio también ha desarrollado un sector comercial y de servicios, con un crecimiento en el turismo debido a sus atractivos naturales y culturales.

En cuanto a la pobreza, en 2023, el 43.1% de la población se encontraba en situación de pobreza moderada y el 5.72% en pobreza extrema. Las principales carencias sociales fueron el acceso a la seguridad social, servicios de salud y alimentación. El municipio ha implementado proyectos para mejorar la infraestructura urbana, los servicios públicos y la calidad de vida de sus habitantes.

Metodología y Tecnología

El presente documento corresponde al desarrollo del proyecto ejecutivo para la reingeniería de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Tlatempan, así como de los colectores y emisores que conforman el sistema hidráulico integral. Este esfuerzo tiene como propósito principal garantizar el saneamiento adecuado de las aguas residuales generadas en los municipios de Santa Cruz Tlaxcala, Amaxac de Guerrero, Contla de Juan Cuamatzi y Apetatitlán de Antonio Carvajal, mediante un rediseño completo del sistema, partiendo desde su análisis físico-socioeconómico hasta la propuesta técnica de infraestructura.

Dado que no se trata de una continuación de una etapa previa, sino de un nuevo enfoque que retoma desde cero la planeación y diseño del sistema, se han considerado metodologías actualizadas y criterios técnicos modernos que permitan dar respuesta a las necesidades actuales y proyectadas de la población. El rediseño abarca tanto las condiciones de captación y conducción, como el tratamiento y disposición final de las aguas residuales.

Para lograr lo anterior, se realizó una recopilación exhaustiva de información de gabinete, complementada con trabajo de campo, entrevistas a autoridades locales y análisis de bases de datos oficiales, con el fin de establecer un marco físico y social que permita dimensionar correctamente la infraestructura requerida.

Este proyecto representa un paso estratégico hacia la mejora de la calidad ambiental, el uso responsable del recurso hídrico y el cumplimiento de las normas en materia de saneamiento, con beneficios directos en la salud pública y el desarrollo sustentable de las comunidades involucradas.

Como parte de las actividades iniciales del proyecto, se consideró fundamental la obtención de información geoespacial precisa y actualizada. Para ello, se recurrió a tecnologías de levantamiento topográfico de alta precisión, entre las que destacan el uso de un receptor GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite) y un vehículo aéreo no tripulado (dron) equipado con cámara de alta resolución.

El GNSS permitió obtener coordenadas exactas en puntos clave del sistema de colectores y emisores, con corrección diferencial en tiempo real (RTK), garantizando una exactitud centimétrica en los datos geográficos. Esto fue esencial para la delimitación del área de estudio, la identificación de puntos críticos y el diseño eficiente de la infraestructura hidráulica.

Complementariamente, el uso del dron facilitó la generación de ortomosaicos actualizados y modelos digitales del terreno (MDT), lo que permitió realizar análisis de pendientes, escurrimientos naturales y evaluar las condiciones actuales de los sitios donde se ubican los tramos de colectores, la planta de tratamiento y posibles

estaciones de bombeo. Esta información también fue clave para reconocer obstáculos físicos, estructuras existentes, cuerpos receptores y zonas de descarga.

La combinación de estas herramientas modernas permitió una planificación más precisa y un diagnóstico integral, reduciendo los márgenes de error y optimizando los tiempos de trabajo en campo, además de favorecer la toma de decisiones informadas durante las etapas de diseño.

Los datos recolectados en campo mediante el GNSS y el dron no solo permitieron ubicar de manera precisa los elementos del sistema hidráulico existente, sino también generaron una base cartográfica actualizada, que fue esencial para evaluar la viabilidad técnica de las soluciones planteadas en esta nueva propuesta de reingeniería. A través de los vuelos realizados con dron, se obtuvieron imágenes aéreas georreferenciadas que, mediante técnicas de fotogrametría, se transformaron en modelos tridimensionales del terreno, facilitando la interpretación del relieve y el comportamiento natural del agua residual en diferentes épocas del año.

Una vez obtenida la información cruda, esta fue procesada con software especializado de fotogrametría y análisis geoespacial, lo que permitió extraer curvas de nivel, delimitar microcuencas urbanas, calcular pendientes, proponer trazos de colectores y prever zonas de conflicto o riesgo hidráulico. Asimismo, se identificaron asentamientos humanos actuales y en crecimiento, con el fin de proyectar un sistema que responda no solo a la situación actual, sino a la demanda futura.

Toda esta información geoespacial se integró en un modelo digital base del proyecto, el cual sirvió como referencia principal para la elaboración de planos, la propuesta de rutas óptimas para emisores y colectores, la ubicación de cajas de interconexión, pozos de visita, estructuras de regulación y la mejor localización para la planta de tratamiento. El análisis de la topografía natural permitió, además, definir con mayor claridad si era necesario incluir estaciones de bombeo en ciertos tramos para garantizar el flujo continuo.

Gracias a esta metodología, se logró reducir significativamente la incertidumbre técnica que suele presentarse en proyectos hidráulicos de esta magnitud, obteniendo un diseño más realista, sustentable y adaptado a las condiciones reales del entorno. El uso de tecnologías como el GNSS y el dron marcó una diferencia notable frente a los métodos tradicionales de levantamiento, mejorando la eficiencia del trabajo, elevando la precisión del diseño y, sobre todo, asegurando que el proyecto cuente con una base sólida y actualizada para su futura ejecución.

Para llevar a cabo el levantamiento del colector ubicado dentro de la cuenca Atoyac-Zahuapan en el estado de Tlaxcala, se emplearon tecnologías avanzadas de

georreferenciación y captura espacial, combinando equipos GNSS de alta precisión con sistemas aéreos no tripulados (drones).

El levantamiento terrestre se realizó utilizando un receptor GNSS multiconstelación de alta exactitud, capaz de conectarse simultáneamente a sistemas satelitales como GPS, GLONASS, Galileo y BeiDou, asegurando una cobertura robusta aún en condiciones de visibilidad reducida. Este tipo de receptor permite registrar coordenadas con precisiones centimétricas en tiempo real (RTK) o en procesos de corrección diferencial (PPK), ofreciendo errores de posición de apenas ± 1 cm + 1 ppm en horizontal y ± 2 cm + 1 ppm en vertical. Gracias a esta capacidad de conexión a más de 30 satélites de manera simultánea, el equipo pudo mantener una precisión constante incluso en zonas de difícil acceso o con vegetación densa, asegurando así un levantamiento detallado y confiable.

La operación de campo incluyó el uso de bases GNSS fijas para la transmisión de correcciones en tiempo real, optimizando la calidad del posicionamiento de los equipos móviles (rovers). Esta estrategia permitió establecer una red de puntos de control terrestre (GCPs), fundamentales para la calibración y georreferenciación precisa de los vuelos de dron.

El apoyo aéreo se realizó mediante drones multirrotor equipados con cámaras fotogramétricas de alta resolución, los cuales, en combinación con los puntos de control GNSS, generaron modelos tridimensionales, ortomosaicos y nubes de puntos densas de la zona de estudio. Gracias a la precisión de los equipos GNSS utilizados, se lograron vincular de forma efectiva las capturas aéreas con el sistema de coordenadas

Además, la precisión alcanzada permitió realizar mediciones en zonas de difícil acceso, donde métodos tradicionales hubieran resultado inviables o poco confiables. Este levantamiento de alta resolución es fundamental para la toma de decisiones en proyectos de saneamiento, rehabilitación o rediseño de infraestructura hidráulica afectada por la severa contaminación de los ríos Zahuapan y Atoyac.

1. Receptor GNSS de alta precisión - Emlid Reach RS2

- Especificaciones técnicas principales:
- Tipo de receptor: GNSS multiconstelación RTK/PPK
- Constelaciones compatibles: GPS, GLONASS, BeiDou, Galileo y QZSS
- Exactitud en tiempo real (RTK):
- Horizontal: $\pm 7 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$
- Vertical: $\pm 14 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$
- Modo de trabajo: Base y rover / Correcciones en tiempo real
- Actualización de datos: 5 Hz
- Autonomía: Hasta 16 horas de trabajo continuo
- Conectividad: Bluetooth, Wi-Fi, LTE (opcional)
- Ventajas en campo:
- Captura de datos en zonas de difícil acceso
- Conexión a más de 30 satélites simultáneamente
- Capacidad de trabajo en terrenos irregulares y con obstáculos
- Aplicación de control: ReachView (App móvil)

2. Dron de fotogrametría aérea – Mini 3

- Especificaciones técnicas principales:
- Tipo de dron: Multirrotor cuadricóptero
- Sistema de posicionamiento: GNSS con módulo RTK integrado
- Precisión posicional RTK:
- Horizontal: $\pm 1 \text{ cm}$
- Vertical: $\pm 1.5 \text{ cm}$
- Cámara:
- Sensor CMOS de 1 pulgada
- Resolución: 20 megapíxeles
- Intervalo de disparo: 2 segundos
- Duración de vuelo: Hasta 30 minutos por batería
- Método de georreferenciación: Con puntos de control GNSS (GCPs)
- Ventajas en campo:
- Captura de ortomosaicos de alta resolución
- Modelado 3D y nube de puntos densa
- Ideal para grandes extensiones y zonas de difícil acceso
- Software de planificación de vuelo: DJI GS RTK o DJI Pilot





¿Cómo los integramos en el levantamiento?

La precisión de ambos sistemas permitió realizar el levantamiento del colector en zonas complicadas de la cuenca Atoyac-Zahuapan, generando datos de alta calidad espacial que servirán para futuros análisis hidráulicos y de saneamiento.

El receptor GNSS proporcionó puntos de control georreferenciados de alta precisión que fueron utilizados para corregir las capturas aéreas del dron, asegurando que todos los productos fotogramétricos (modelos, ortomosaicos, curvas de nivel) estuvieran perfectamente alineados con el sistema oficial de coordenadas.

Localización Geográfica

El proyecto se desarrolla en el corazón del estado de Tlaxcala, abarcando principalmente los municipios de Santa Cruz Tlaxcala, Amaxac de Guerrero, Contla de Juan Cuamatzi y Apetatitlán de Antonio Carvajal, todos ellos ubicados en una región estratégica del altiplano central mexicano.

Esta zona se asienta en las inmediaciones del volcán La Malinche, lo cual influye directamente en las condiciones topográficas del terreno. La altitud varía ligeramente entre municipios, destacando Santa Cruz Tlaxcala como el punto más elevado del área de intervención, mientras que Apetatitlán representa la parte más baja en términos altitudinales.

Desde el punto de vista geográfico, los municipios se encuentran dentro de las coordenadas que van de 19°19'50" a 19°23'40" de latitud norte, y de 98°7'10" a 98°12'50" de longitud oeste. Esta ubicación facilita la conectividad regional y permite articular soluciones hidráulicas con enfoque metropolitano.

La delimitación del área de influencia del proyecto considera no solo los centros urbanos de los municipios mencionados, sino también sus zonas periféricas, lo cual permitirá una planeación integral y con visión a futuro en materia de recolección y tratamiento de aguas residuales.

Metodología del Levantamiento Topográfico

Planificación del Levantamiento

La planificación es la piedra angular de cualquier proyecto de levantamiento topográfico. En un proyecto que involucra tecnologías avanzadas como el GNSS y los drones, la planificación adquiere aún más relevancia debido a las implicaciones en términos de precisión, eficiencia y tiempos de trabajo en campo. La correcta planificación no solo garantiza la obtención de datos de alta calidad, sino que también optimiza el uso de los recursos disponibles, reduce los tiempos de trabajo y mejora la seguridad del equipo de campo.

Antes de iniciar el levantamiento, se definieron los objetivos generales del proyecto, así como los objetivos específicos que guiarían la planificación del trabajo. Los objetivos generales buscaban maximizar la precisión y eficiencia del levantamiento topográfico, mientras que los objetivos específicos se enfocaban en tareas detalladas, como la elección de los puntos de control, la optimización de las rutas de vuelo del dron y la garantía de la seguridad en campo.

Obtener un levantamiento topográfico detallado y preciso del área del colector sanitario mediante el uso combinado de tecnología GNSS y drones, asegurando la máxima calidad en los datos geoespaciales para el diseño y planificación de la infraestructura.

Establecer una estación base GNSS de referencia para la captura de datos precisos de coordenadas.

Distribuir puntos de control georreferenciados de manera estratégica a lo largo del área del proyecto, garantizando la precisión en los datos.

Planificar y ejecutar vuelos con el dron DJI Mini 3, cubriendo de manera óptima el área del levantamiento para obtener imágenes con la resolución adecuada para la fotogrametría.

Asegurar la correcta integración de los datos obtenidos del GNSS y el dron para la creación de productos cartográficos de alta precisión (ortofotografías, modelos 3D, curvas de nivel, etc.).

La planificación adecuada de estos objetivos fue crucial para garantizar que las fases de campo fueran ejecutadas de manera efectiva y sin imprevistos.

Selección de la Estación Base GNSS y Puntos de Control

Uno de los pasos más importantes en la planificación fue la selección de la estación base GNSS. Este equipo se ubicó en un punto georreferenciado de referencia, lo que permitió que todas las mediciones realizadas por el receptor móvil estuvieran alineadas con las coordenadas globales exactas. Para este propósito, se seleccionó un punto de fácil acceso y con visibilidad directa al cielo, lo que es esencial para garantizar que la estación base reciba señales satelitales claras y estables. Además, se eligió una estación base con características de alta precisión que pudieran corregir las señales en tiempo real mediante el sistema RTK (Real-Time Kinematic), mejorando la precisión del levantamiento a niveles centimétricos.

La distribución de los puntos de control fue otro aspecto clave de la planificación. Los puntos de control georreferenciados son fundamentales para asegurar la calidad de los datos obtenidos en campo. Estos puntos deben ser ubicados en lugares estratégicos a lo largo del recorrido del colector sanitario, en áreas críticas como intersecciones, cambios de dirección o zonas de difícil acceso. Los puntos se seleccionaron con la capacidad de ser fácilmente visibles, permitiendo que el equipo GNSS pudiera capturar sus coordenadas con precisión.

Una vez que los puntos de control fueron seleccionados y distribuidos, se les asignó un código único para su identificación en campo y para su registro en los sistemas de procesamiento de datos. La distribución estratégica de los puntos de control en el terreno también permitió un mejor modelado de la superficie en las etapas posteriores del procesamiento.

Programación de los Vuelos del Dron

La programación de los vuelos del dron DJI Mini 3 fue otra fase crítica en la planificación del levantamiento. Se tuvieron en cuenta varios factores para garantizar que los vuelos fueran efectivos y cubrieran toda el área de trabajo sin interrupciones o falta de datos. Los principales factores que influyeron en la planificación de los vuelos fueron:

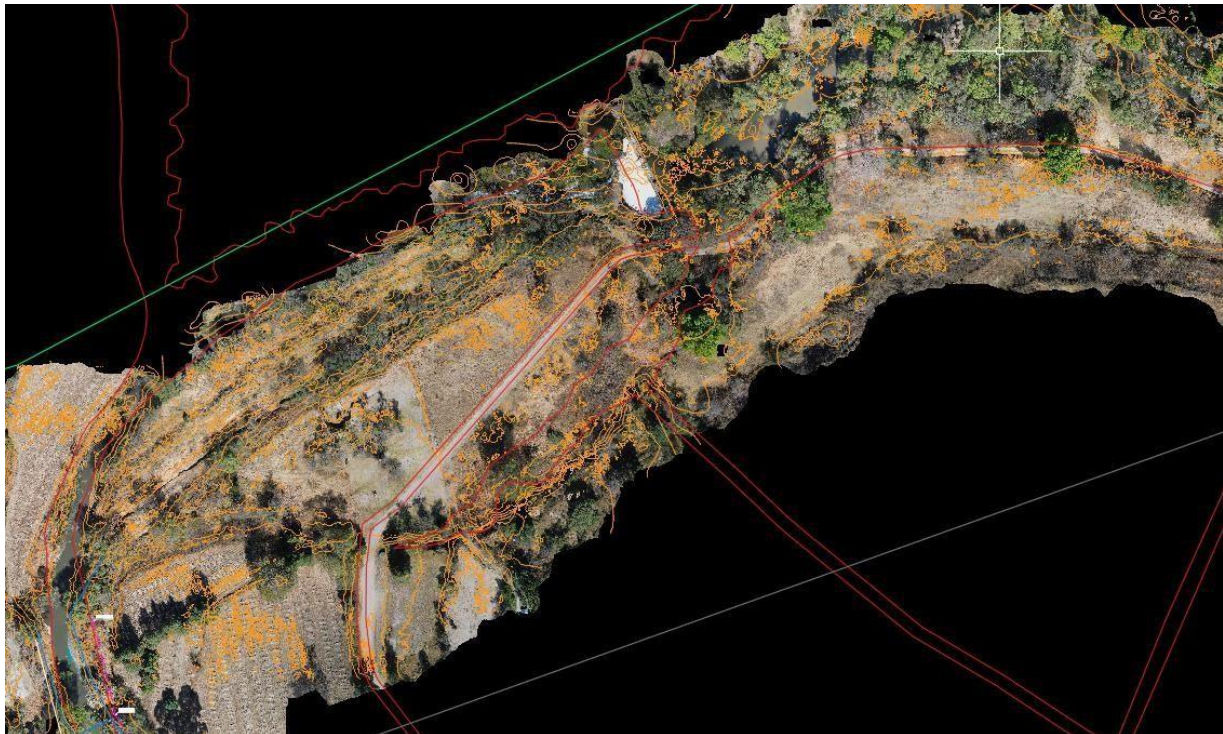
Autonomía de la Batería: El DJI Mini 3 tiene una autonomía de vuelo de hasta 34 minutos, lo que lo convierte en una excelente herramienta para cubrir áreas extensas, pero también requiere una planificación cuidadosa para asegurar que cada vuelo sea optimizado en términos de tiempo y distancia. Durante la planificación, se estimó cuántos vuelos serían necesarios para cubrir toda el área

del colector sanitario y se distribuyeron en varias misiones, teniendo en cuenta la duración de la batería y la distancia máxima de vuelo.

Altura de Vuelo y Superposición de Imágenes: La altura a la que se volará el dron es un factor determinante para la calidad de las imágenes obtenidas. Se definió una altura de vuelo de aproximadamente 100 metros para equilibrar la cobertura del área y la resolución de las imágenes. Además, se determinó que la superposición entre las imágenes debía ser de al menos el 70% en el eje longitudinal y 60% en el eje lateral, lo que es estándar para lograr una buena calidad en los modelos 3D generados posteriormente.

Condiciones Meteorológicas: Se establecieron condiciones meteorológicas óptimas para la realización de los vuelos. Dado que el DJI Mini 3 es sensible al viento y la lluvia, se programaron los vuelos para días sin viento fuerte y con cielos despejados, lo que también garantizó la estabilidad del dron y la calidad de las imágenes. Además, se preparó un protocolo de seguridad en caso de que las condiciones meteorológicas cambiaran repentinamente durante los vuelos.

Rutas de Vuelo Predefinidas: Para optimizar el uso del dron y evitar zonas no cubiertas o sobrevoladas innecesariamente, se trazaron rutas de vuelo predefinidas utilizando software especializado. Estas rutas fueron creadas de acuerdo con el área que debía cubrirse y teniendo en cuenta la altura de vuelo establecida. Cada ruta fue diseñada para permitir una cobertura continua sin superposición excesiva o huecos en la captura de imágenes.



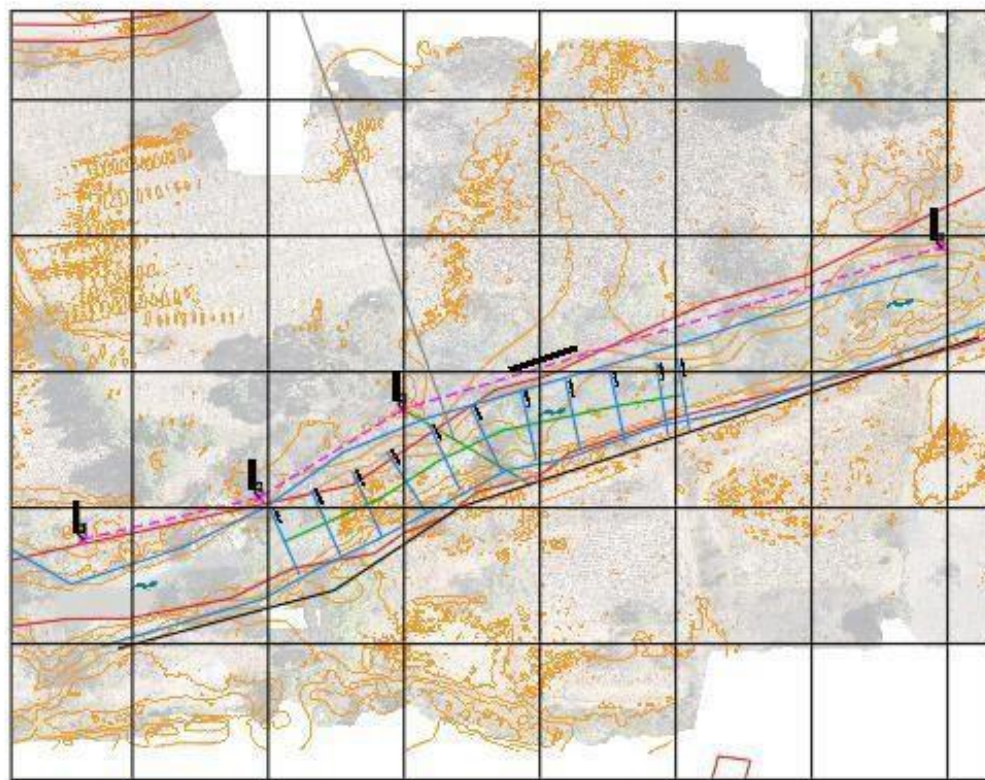
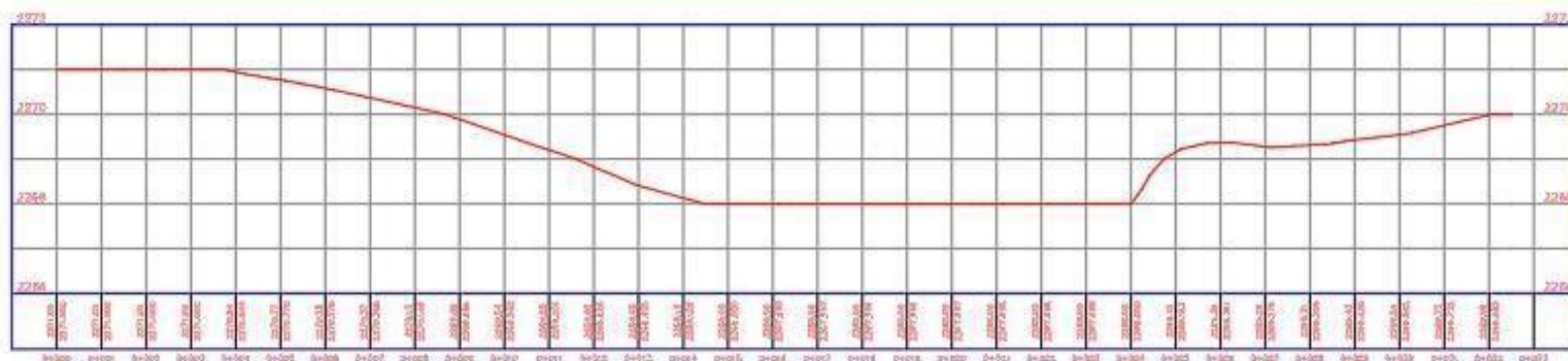


Tabla de datos	
	Punto de referencia
	Curvas de Nivel
	Hombre de río
	Polígono de referencia
	Dirección de río
	Línea de secciones

Tabla puntos de apoyo				
Punto	Elevación	Latitud	Longitud	Descripción
1	2282.00	21.79544148	-98.013.72	A1
2	2271.08	21.82860019	-98.030.09	A2
3	2287.39	21.8688.38	-98.042.37	A3
4	2272.00	21.8973048	-98.043.54	A4

Cruce PROFILE



GOBIERNO DEL ESTADO DE TLAXCALA

SI

SIMBOLOGÍA

NOTAS GENERALES

Elaborado por: [Redacted]

DEPARTAMENTO DE INFRAESTRUCTURA

Revisado por: [Redacted]

Aprobado por: [Redacted]

Control del Clima y Seguridad en Campo

Uno de los desafíos más grandes en los levantamientos topográficos con dron es el clima. Las condiciones meteorológicas adversas, como el viento fuerte, la lluvia o la niebla, pueden afectar gravemente la calidad de las imágenes o incluso poner en peligro el equipo. Para evitar problemas durante la ejecución del levantamiento, se tomaron medidas preventivas:

Monitoreo del Clima: Antes de cada vuelo, se monitorearon las condiciones climáticas para asegurarse de que no hubiera viento excesivo ni lluvia en el área del levantamiento. Se utilizaron aplicaciones y herramientas de pronóstico meteorológico en tiempo real para asegurarse de que el día fuera adecuado para el vuelo del dron.

Seguridad del Personal: La seguridad del equipo en campo fue prioritaria. Durante todo el levantamiento, se aseguraron protocolos de seguridad para evitar accidentes durante la operación del dron. Se establecieron áreas de seguridad para que el personal no estuviera cerca del dron durante el despegue y el aterrizaje, y se capacitó a todos los miembros del equipo sobre procedimientos de emergencia en caso de fallos técnicos o condiciones climáticas cambiantes.

Regulaciones Locales y Permisos: Además de la seguridad, se tomaron en cuenta las normativas locales sobre el uso de drones. Se solicitó la autorización de las autoridades pertinentes para la operación del dron en el área, asegurándose de cumplir con todas las regulaciones de aviación civil y las restricciones de vuelo.

Ejecución del Levantamiento

La ejecución del levantamiento es la fase en la que se llevan a cabo las actividades de campo para obtener los datos topográficos que luego serán procesados en los softwares correspondientes. Esta etapa es crucial, ya que los datos obtenidos serán la base para todo el análisis y el diseño del colector sanitario. Durante la ejecución del levantamiento, se utilizaron tanto los equipos GNSS como el dron DJI Mini 3, lo que permitió un levantamiento eficiente y preciso, aprovechando las ventajas de ambas tecnologías.

Preparación de los Equipos

Antes de iniciar el trabajo de campo, fue fundamental preparar adecuadamente todos los equipos para asegurar su correcto funcionamiento. La estación base GNSS y el receptor móvil GNSS fueron calibrados y verificados para garantizar que estuvieran en condiciones óptimas para la captura de datos. Se realizaron las pruebas de comunicación entre los equipos, asegurando que la señal de corrección en tiempo real llegara correctamente al receptor móvil.

El dron DJI Mini 3, por su parte, pasó por un proceso de verificación previo a los vuelos. Esto incluyó revisar las baterías, los sistemas de comunicación, las cámaras y los sensores. También se realizó un chequeo de la aplicación de control del dron para confirmar que todas las funciones estaban activas y operativas.

Posicionamiento y Establecimiento de Puntos de Control

El primer paso en la ejecución fue el establecimiento de la estación base GNSS, que se ubicó en un punto previamente seleccionado de alta visibilidad, como se había planificado. La estación base se encarga de recibir señales satelitales de diferentes constelaciones (GPS, GLONASS, Galileo, etc.) y emitir correcciones en tiempo real al receptor móvil, que es el equipo encargado de capturar las coordenadas precisas de los puntos de control.

Se comenzó con la toma de los puntos de control georreferenciados distribuidos a lo largo del área del colector sanitario. Los puntos fueron elegidos en ubicaciones estratégicas, como puntos de cambio de dirección, intersecciones y zonas de difícil acceso, para garantizar que el levantamiento cubriera todas las áreas relevantes del proyecto.

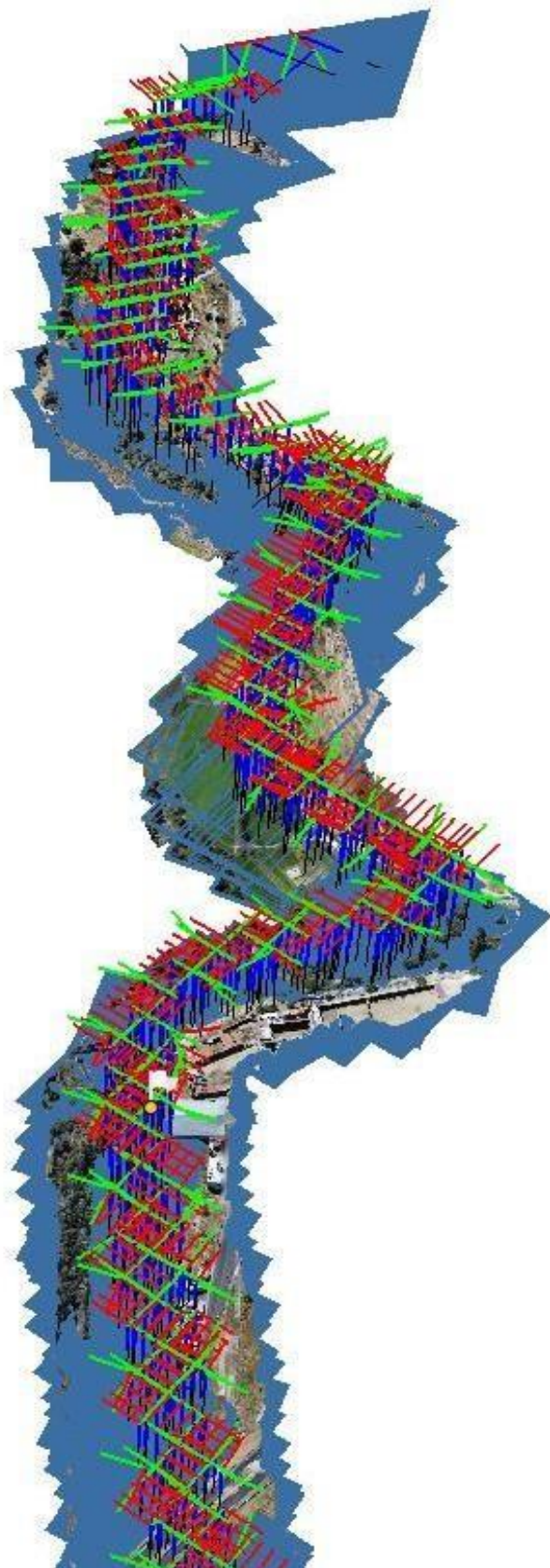
Cada punto fue registrado meticulosamente utilizando el receptor GNSS, asegurándose de que la precisión en la medición fuera de al menos 2 cm en los tres ejes (X, Y, Z). En este proceso, el equipo de campo también verificó que los puntos estuvieran marcados claramente y que fueran fácilmente localizables para su posterior uso en la fotogrametría aérea.

Vuelos del Dron y Captura de Imágenes Aéreas

Una vez que los puntos de control fueron establecidos, se procedió con la ejecución de los vuelos del dron DJI Mini 3. La programación de los vuelos ya había sido realizada con anterioridad, por lo que el dron despegó siguiendo las rutas predeterminadas, cubriendo toda el área del colector sanitario. Durante cada vuelo, el dron voló a la altura de 100 metros, obteniendo imágenes con la resolución adecuada para la fotogrametría.

El software de control del dron utilizó las coordenadas geográficas de cada punto de control, lo que permitió que el sistema ajustara el vuelo del dron para capturar imágenes con una superposición del 70% longitudinal y 60% lateral. Esto es crucial para asegurar que las imágenes capturadas se puedan alinear correctamente durante el proceso de fotogrametría y para generar un modelo 3D de la superficie.

En total, se realizaron varias misiones de vuelo para cubrir toda el área del colector. Cada vuelo tuvo una duración aproximada de 30 a 40 minutos, dependiendo de la extensión del área a cubrir. Después de cada vuelo, el dron regresaba a su punto de inicio para cambiar las baterías y continuar con la siguiente misión de vuelo. Este proceso se repitió hasta que se obtuvo la cobertura completa.



Control de la Calidad de los Datos en Tiempo Real

Durante la ejecución del levantamiento, se implementaron controles de calidad en tiempo real para asegurar la precisión de los datos capturados. Se monitorearon las lecturas de los equipos GNSS y se verificó la calidad de las imágenes capturadas por el dron.

En el caso del GNSS, la estación base enviaba correcciones en tiempo real, por lo que los puntos capturados por el receptor móvil ya contaban con un alto grado de precisión. A medida que se avanzaba en el levantamiento, se realizaron inspecciones periódicas para verificar la exactitud de las mediciones, asegurando que los puntos de control estuvieran correctamente alineados y georreferenciados.

Por otro lado, se realizó un seguimiento constante de las imágenes aéreas. El software de control del dron permitió visualizar en tiempo real las imágenes capturadas y asegurarse de que todas las áreas estuvieran cubiertas adecuadamente. Si se detectaba alguna anomalía, como la falta de cobertura en una zona, se programaba un vuelo adicional para asegurar la obtención de las imágenes necesarias.

Vuelos Adicionales y Ajustes en Campo

Aunque se había planificado un número específico de vuelos para cubrir toda el área, en la práctica surgieron algunas áreas que no fueron capturadas con la calidad deseada, especialmente en zonas con obstáculos o en áreas con condiciones meteorológicas cambiantes. Por lo tanto, se realizaron vuelos adicionales para asegurarse de que cada área estuviera completamente cubierta, y se optimizó la cobertura de imágenes en las zonas que presentaban alguna deficiencia.

El equipo también realizó ajustes en los parámetros de los vuelos, como la altitud o el ángulo de la cámara para maximizar la resolución de las imágenes en las zonas que lo requerían. Estos ajustes fueron necesarios para garantizar la precisión en la fotogrametría y la calidad de los modelos 3D generados.

Finalización de la Ejecución del Levantamiento y Recolección de Datos Complementarios

Una vez que todos los puntos de control fueron tomados y que las áreas relevantes fueron cubiertas con las imágenes aéreas necesarias, se completó la ejecución del levantamiento. En esta fase, se realizaron algunos pasos finales:

Verificación de Datos: Se verificaron los datos obtenidos tanto del GNSS como del dron para asegurarse de que todo estuviera completo. Los puntos de control fueron revisados para confirmar que las coordenadas fueran precisas y consistentes con los datos de la estación base.

Documentación de la Ejecución: Se documentaron todas las actividades realizadas, incluyendo las horas de vuelo, las coordenadas de cada punto de control, las condiciones meteorológicas, y cualquier ajuste realizado durante los vuelos. Esta documentación es esencial para los informes posteriores y para la validación de los resultados.

Cierre de la Operación en Campo: Finalmente, se retiraron los equipos del sitio, se realizó un último chequeo del área de trabajo para garantizar que no quedara ningún equipo o material, y se procedió con la devolución de los permisos de vuelo y otros registros ante las autoridades correspondientes.

Procesamiento de Datos y Generación de Modelos

Una vez finalizada la fase de recolección de datos, tanto con el GNSS como con el dron DJI Mini 3, el siguiente paso es procesar los datos obtenidos para generar representaciones digitales del terreno que serán utilizadas en el diseño y análisis del colector sanitario. Esta etapa de procesamiento es esencial para convertir los datos de campo en modelos 3D precisos y ortofotografías que reflejen con exactitud la topografía del área de trabajo.

Procesamiento de Datos GNSS con CivilCAD

El primer conjunto de datos procesados fueron los puntos de control georreferenciados capturados durante la ejecución del levantamiento con el sistema GNSS. Estos puntos de control son esenciales para garantizar que los modelos generados con el dron sean precisos y estén correctamente alineados con el sistema de coordenadas del proyecto.

CivilCAD, el software utilizado para el procesamiento de los datos GNSS, es una herramienta especializada en la generación de productos topográficos a partir de mediciones precisas realizadas en campo.

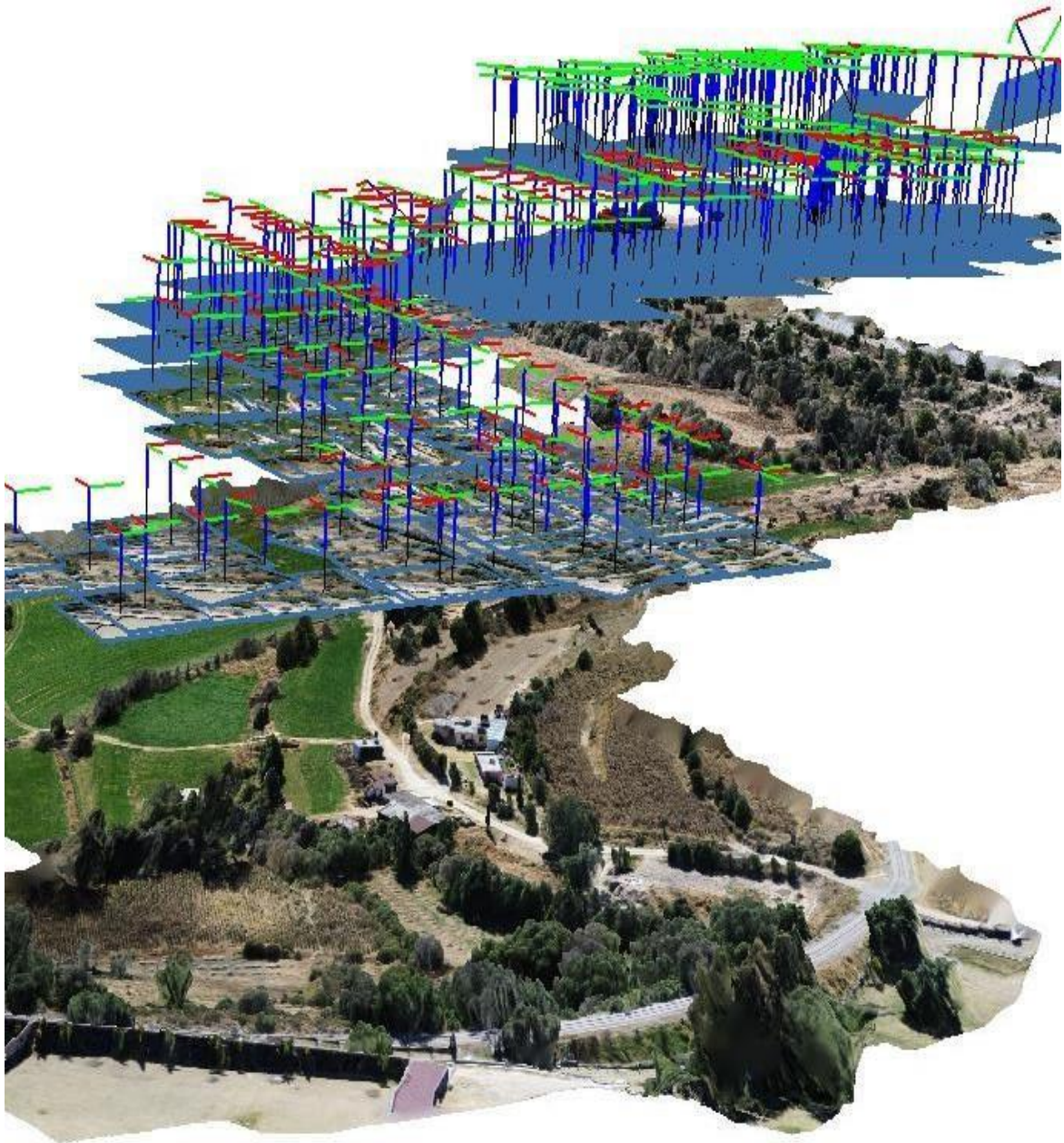
El flujo de trabajo en CivilCAD para procesar los datos GNSS es el siguiente:

Importación de los Datos GNSS: Los puntos de control obtenidos con el receptor móvil GNSS fueron importados directamente a AutoCAD mediante el complemento CivilCAD. Los archivos de coordenadas en formato .txt o .csv fueron cargados al software, asegurando que todos los puntos estuvieran bien representados en el plano de trabajo.

Ajuste de los Puntos de Control: Una vez que los puntos fueron importados, el siguiente paso fue realizar el ajuste de los puntos de control en base a las coordenadas geográficas de referencia. Esto se hace para garantizar que los puntos obtenidos estén alineados correctamente con el sistema de coordenadas global, en este caso, el sistema WGS84.

Generación de Curvas de Nivel y Superficies Digitales: Con los puntos de control ajustados, CivilCAD permitió generar las curvas de nivel del área del colector sanitario. Estas curvas son cruciales para entender la topografía del terreno y para determinar la pendiente y el trazado del colector. Además, el software permite la creación de superficies digitales (DTM, Digital Terrain Model) que proporcionan una representación tridimensional del terreno.

Cálculo de Volúmenes y Análisis de Terreno: Otro aspecto importante del procesamiento en CivilCAD fue el cálculo de volúmenes de corte y relleno. Con las curvas de nivel generadas, se puede estimar el volumen de material que será necesario excavar o rellenar durante la construcción del colector sanitario. Estos cálculos son esenciales para la planificación de recursos y para el análisis de la viabilidad económica del proyecto.



Procesamiento de Imágenes Aéreas con Agisoft Metashape

El siguiente paso en el procesamiento de los datos fue la generación de modelos tridimensionales y ortofotografías a partir de las imágenes capturadas por el dron DJI Mini 3. Para ello, se utilizó el software Agisoft Metashape, que es una herramienta avanzada de fotogrametría digital capaz de transformar imágenes aéreas en representaciones precisas del terreno.

El flujo de trabajo en Metashape para procesar las imágenes del dron fue el siguiente:

Importación de Imágenes Aéreas: Las fotografías tomadas por el DJI Mini 3 fueron importadas a Metashape en su formato original. El software tiene la capacidad de trabajar con grandes volúmenes de imágenes, lo cual es esencial cuando se realizan levantamientos a gran escala.

Alineación de Imágenes: El primer paso del procesamiento fotogramétrico es la alineación de las imágenes. Metashape utiliza algoritmos avanzados para identificar puntos comunes entre las fotografías, lo que permite al software reconstruir la posición exacta de cada imagen en el espacio 3D. Este paso es clave para asegurar que todas las imágenes sean correctamente registradas y alineadas, creando una base sólida para la generación del modelo 3D.

Construcción de la Nube de Puntos: Después de la alineación de las imágenes, Metashape genera una nube de puntos 3D a partir de las características comunes entre las fotografías. Esta nube de puntos es una representación detallada de la superficie terrestre, obtenida a partir de las imágenes aéreas. El número de puntos generados depende de la calidad y la resolución de las fotografías, así como de la cobertura del terreno.

Generación de Modelos 3D y Ortomosaicos: Con la nube de puntos generada, Metashape es capaz de construir modelos tridimensionales del terreno. Estos modelos 3D son representaciones digitales de la superficie que permiten visualizar la topografía con gran precisión. Además, el software también puede generar ortomosaicos, que son imágenes aéreas corregidas geométricamente y alineadas con las coordenadas globales, lo que permite utilizarlas para análisis visuales y planificación.

Georreferenciación y Ajustes con Puntos de Control: Para mejorar la precisión del modelo, las imágenes y la nube de puntos generadas por Metashape fueron georreferenciadas utilizando los puntos de control obtenidos con el sistema GNSS. Este paso es crucial, ya que garantiza que los modelos 3D y las ortofotografías

estén correctamente alineados con el sistema de coordenadas global y sean precisos en términos de ubicación y escala.

Optimización y Exportación de Resultados: Finalmente, una vez que el modelo 3D y los ortomosaicos fueron generados, se realizaron ajustes para optimizar la calidad del modelo. Esto incluyó la eliminación de puntos erróneos o ruidosos de la nube de puntos y la mejora de la resolución de las imágenes. El resultado final fue un modelo 3D de alta calidad que fue exportado en formatos compatibles con software de diseño y análisis, como .obj, .tiff, y .ply, que posteriormente fueron utilizados para el diseño del colector sanitario.



Integración de Datos GNSS y Dron para el Diseño del Colector

Una de las ventajas principales de utilizar tanto el GNSS como el dron en este proyecto es la capacidad de integrar los datos obtenidos por ambos métodos en una única plataforma para la planificación y diseño del colector sanitario. La integración de los puntos de control georreferenciados con las imágenes aéreas y los modelos 3D generados permitió crear una representación detallada y precisa del terreno, lo que es fundamental para el diseño del colector.

Con los datos procesados, se realizó el diseño preliminar del colector sanitario, incluyendo su trazado y las áreas que requerían excavación. La información de la topografía generada permitió analizar las pendientes, identificar zonas de riesgo o problemas potenciales en el terreno y optimizar el diseño de la infraestructura.

Validación y Verificación de Resultados

Una vez obtenidos los datos del levantamiento topográfico, tanto con el sistema GNSS como con el dron DJI Mini 3, y procesados en los programas CivilCAD y Agisoft Metashape, es crucial llevar a cabo un proceso de validación y verificación para garantizar que los resultados sean precisos, confiables y estén listos para ser utilizados en el diseño del colector sanitario. Este proceso asegura que las representaciones generadas, como las ortofotografías, los modelos 3D y las curvas de nivel, sean lo más fiel posible a la realidad del terreno.

La validación y verificación de los resultados consisten en comparar los datos obtenidos con los estándares y especificaciones del proyecto, y en algunos casos, realizar mediciones adicionales para verificar que no haya discrepancias entre la información del levantamiento y las condiciones reales del terreno.

Métodos de Validación para Datos GNSS

El primer paso en la validación de los resultados es verificar la precisión de los datos obtenidos con el sistema GNSS. Para esto, se emplean varios métodos:

Control de Puntos de Referencia: Una de las primeras tareas de validación consiste en revisar que los puntos de control georreferenciados utilizados en el levantamiento GNSS coincidan con los puntos de referencia existentes en el área de trabajo. Estos puntos de referencia pueden ser puntos geodésicos establecidos por autoridades locales o puntos de control conocidos obtenidos a partir de levantamientos previos. La coincidencia entre las coordenadas obtenidas en el levantamiento y las coordenadas de estos puntos de referencia es un indicador clave de la precisión del sistema GNSS.

Doble Medición con GNSS: En algunos casos, se realiza una segunda medición de los mismos puntos con diferentes equipos GNSS o en diferentes momentos para comprobar la consistencia y exactitud de los datos. Esto puede incluir el uso de estaciones base fijas y equipos móviles para obtener mediciones simultáneas en tiempo real, lo que permite obtener un margen de error menor y verificar la confiabilidad de las coordenadas obtenidas.

Método de Comparación con Modelos Digitales: Otra forma de validar los datos GNSS es compararlos con los modelos digitales generados en el software de procesamiento. Al superponer las coordenadas obtenidas del GNSS con el modelo digital del terreno (DTM) o las curvas de nivel, se puede comprobar que las mediciones realizadas se alineen correctamente con la topografía del área de trabajo. Esto garantiza que los datos no tengan errores de escala o desplazamientos en el sistema de coordenadas.

Métodos de Validación para Datos de Dron

Por otro lado, los datos obtenidos del dron DJI Mini 3 también deben ser validados para asegurar su calidad y precisión. En este caso, los métodos de validación incluyen los siguientes:

Puntos de Control Terreno (GCPs): Los puntos de control georreferenciados capturados con el sistema GNSS se utilizan para georreferenciar las imágenes tomadas con el dron. Estos puntos de control proporcionan la referencia espacial necesaria para que el software de fotogrametría pueda alinear y ajustar las imágenes aéreas con precisión. La validez de estos puntos se verifica al revisar si las posiciones de los GCPs en el modelo generado coinciden con las coordenadas reales obtenidas del GNSS. Si la diferencia entre las coordenadas es mínima (en el orden de los milímetros o centímetros), esto valida que las imágenes y los modelos están correctamente alineados.

Comparación de Modelos con Realidad del Terreno: Otra forma de validar los modelos generados a partir de las imágenes del dron es compararlos con las condiciones reales del terreno. Esto se puede hacer mediante una inspección visual del modelo 3D generado, asegurándose de que las formas y dimensiones del terreno sean realistas y estén de acuerdo con lo observado en campo. Si es necesario, se pueden realizar mediciones adicionales en el terreno y compararlas con los datos del modelo para verificar su precisión.

Análisis de la Calidad del Ortofoto: Además de los modelos 3D, el software Agisoft Metashape genera ortofotografías corregidas geométricamente. La calidad de estas ortofotografías es fundamental para la precisión del levantamiento. Un buen

indicador de calidad es la resolución espacial (es decir, la cantidad de detalles que se pueden distinguir en la imagen) y la corrección geométrica (la exactitud con la que se alinean las imágenes con el sistema de coordenadas global). Estas ortofotografías pueden compararse con otras fuentes de datos, como imágenes satelitales o mapas previos, para verificar su exactitud.

Verificación de Superficies 3D: Los modelos 3D generados a partir de las imágenes del dron pueden ser verificados mediante una comparación con las superficies reales del terreno. Al observar la forma y las pendientes del modelo 3D, se debe corroborar que coincidan con las características topográficas del área de trabajo. Los modelos digitales generados deben mostrar correctamente las curvas de nivel, pendientes y zonas elevadas o hundidas, lo cual es fundamental para el diseño del colector sanitario.

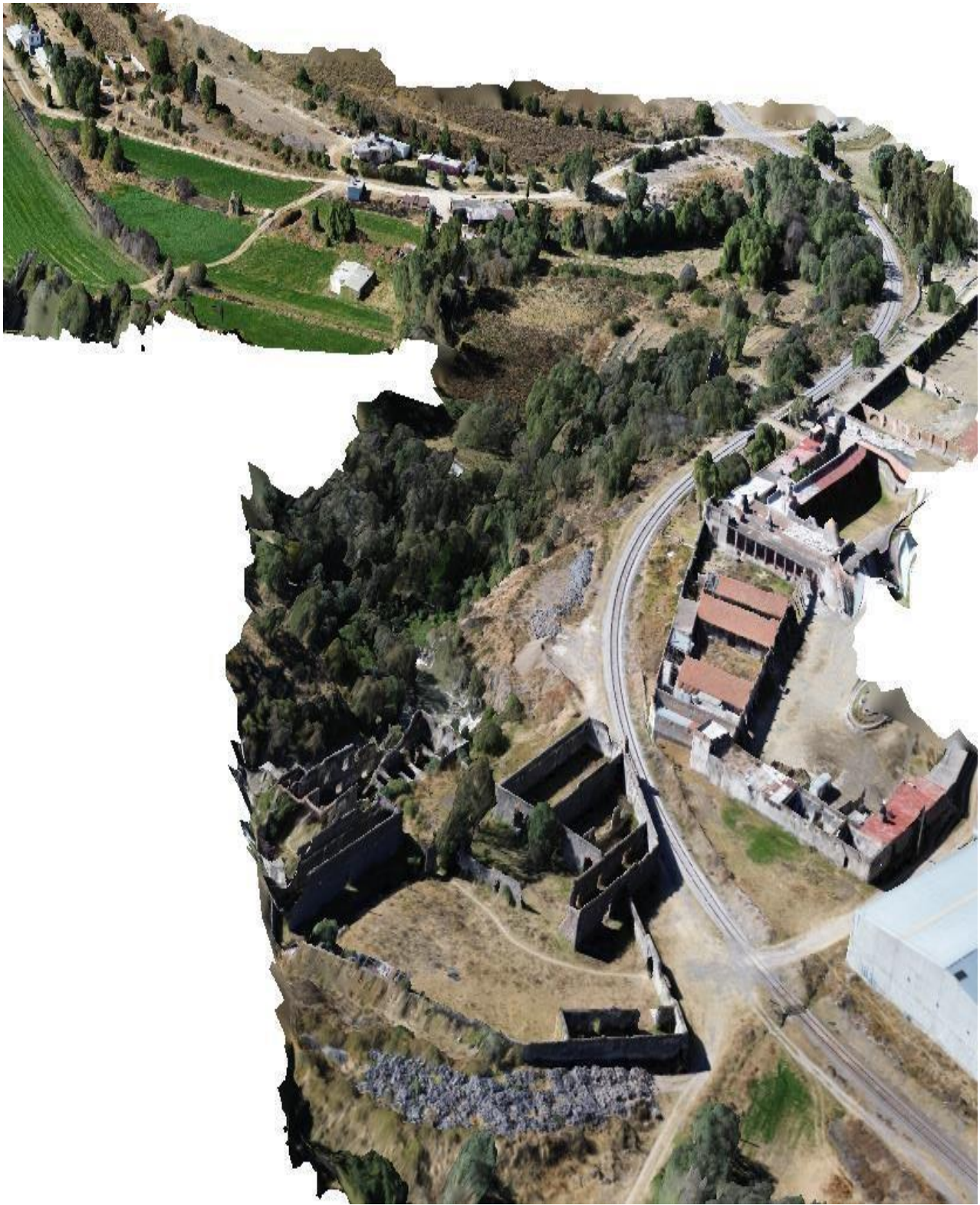
Métodos de Validación Combinados: GNSS + Dron

En este proyecto, la combinación de datos GNSS y de dron también debe ser validada en conjunto para asegurar que ambas fuentes de información se complementen de manera efectiva. Para ello, se pueden aplicar las siguientes metodologías de validación combinada:

Superposición de Datos GNSS en Modelos de Dron: Los puntos de control obtenidos con el sistema GNSS son utilizados no solo para georreferenciar las imágenes del dron, sino también para verificar que los modelos 3D generados con el dron se alineen correctamente con los datos obtenidos en campo. La superposición de los puntos de control en el modelo digital de superficie permite detectar posibles desplazamientos o errores geométricos en los datos obtenidos del dron.

Validación del Modelo con Mediciones de Campo: Para una verificación final, se puede realizar una medición directa en campo de algunas de las características generadas por los modelos, como curvas de nivel, pendientes y altitudes. Estas mediciones son luego comparadas con los valores obtenidos a partir de los modelos 3D y ortofotografías para asegurar que la representación digital del terreno sea precisa.

Evaluación de la Precisión Total: Finalmente, se realiza una evaluación de la precisión total del levantamiento, considerando la exactitud de los datos GNSS, la calidad de las imágenes del dron, y la georreferenciación de ambos conjuntos de datos. Para ello, se calcula el margen de error en las coordenadas y en la geometría de los modelos generados, con el fin de asegurar que se cumpla con los estándares de precisión requeridos para el diseño del colector sanitario.



Ajustes y Correcciones Post-Procesamiento

En caso de detectar errores o inconsistencias en los resultados obtenidos, se procede a realizar los ajustes y correcciones necesarias. Estos pueden incluir:

Ajustes en la georreferenciación: Si se detectan desplazamientos en los puntos de control o en las ortofotografías, se puede realizar un ajuste de la transformación geográfica para alinear correctamente los datos con las coordenadas de referencia.

Reprocesamiento de imágenes: Si la calidad de las imágenes tomadas con el dron no es suficiente, se pueden realizar ajustes en la resolución de las imágenes o en los parámetros de vuelo para obtener mejores resultados.

Repetición de mediciones: En caso de inconsistencias importantes, se pueden realizar mediciones adicionales con el GNSS para verificar que los datos sean correctos y se ajusten adecuadamente al modelo generado.

Análisis y Procesamiento de Datos

El análisis y procesamiento de los datos obtenidos a partir del levantamiento topográfico mediante GNSS y drones constituye un paso esencial para transformar la información cruda obtenida en campo en productos útiles para el diseño y la ejecución de proyectos de ingeniería. En el contexto de este proyecto, que tiene como objetivo el diseño de un colector sanitario, el análisis de los datos adquiridos de los levantamientos se realiza con el fin de obtener representaciones precisas del terreno y garantizar que todos los elementos del diseño estén adecuadamente ajustados a la realidad del terreno.

El procesamiento de datos en un levantamiento topográfico con GNSS y drones involucra varios niveles de análisis, desde la georreferenciación de las imágenes y las coordenadas de los puntos, hasta la generación de modelos 3D y otros productos cartográficos que se utilizarán en la fase de diseño. Este proceso requiere el uso de software especializado, como CivilCAD para los datos GNSS y Agisoft Metashape para las imágenes obtenidas con el dron. A continuación, se describen los pasos clave en el análisis y procesamiento de los datos.

Preprocesamiento de Datos: Importación y Configuración de Software

El primer paso en el procesamiento de los datos es la importación y configuración inicial de la información en los programas de software. Para los datos obtenidos con el GNSS, se utiliza CivilCAD, un software que permite importar las coordenadas de los puntos de control y de los puntos levantados en el terreno. De forma similar, para los datos obtenidos con el dron DJI Mini 3, las imágenes tomadas por el dron se cargan en el software Agisoft Metashape.

Configuración de CivilCAD:

Importación de Puntos GNSS: Los puntos de control georreferenciados obtenidos con el GNSS se importan a CivilCAD, donde se aseguran de que las coordenadas sean precisas. Estos puntos se utilizan como base para definir el sistema de referencia y la escala del levantamiento.

Ajuste de Coordenadas: Si es necesario, se pueden realizar ajustes en las coordenadas para garantizar que estén alineadas correctamente con el sistema geodésico utilizado en el proyecto. En este paso, también se configura el formato de las coordenadas, ya sea en UTM o en geográficas (latitud y longitud).

Configuración de Agisoft Metashape:

Importación de Imágenes Aéreas: Las imágenes obtenidas por el dron se importan en Metashape. Estas imágenes son procesadas para identificar puntos comunes entre las diferentes fotos y establecer una alineación inicial.

Georreferenciación de Imágenes: Usando los puntos de control GNSS, las imágenes capturadas por el dron son georreferenciadas para asegurar que se ajusten al sistema de coordenadas correcto. En este paso, se asignan las coordenadas precisas a cada imagen, lo cual es clave para la calidad del modelo final.

Procesamiento de Datos GNSS: Ajustes y Modelado

El procesamiento de los datos obtenidos con el GNSS se realiza principalmente en CivilCAD y se centra en la ajuste de los puntos de control y la generación de productos topográficos.

Ajuste de Coordenadas y Corrección de Desviaciones: A veces, las mediciones GNSS pueden presentar pequeñas desviaciones debido a factores como interferencias atmosféricas o bloqueos de señal por obstrucciones físicas. En CivilCAD, se utilizan algoritmos de ajuste de coordenadas para minimizar estos errores y garantizar que las coordenadas obtenidas sean lo más precisas posible.

Generación de Modelos Digitales de Superficie (DSM): A partir de los puntos GNSS ajustados, se genera un modelo digital de superficie (DSM) que refleja las características del terreno, como colinas, valles, caminos y demás elementos visibles en la superficie. Este modelo es crucial para el diseño de infraestructuras como el colector sanitario, ya que proporciona una base para calcular pendientes, volúmenes y áreas.

Generación de Curvas de Nivel y Perfil Longitudinal: En este paso, CivilCAD genera las curvas de nivel del área de trabajo. Las curvas de nivel permiten observar cómo varía la altitud en el terreno y sirven para analizar los gradientes de inclinación, lo cual es esencial para el diseño de sistemas de drenaje como el colector sanitario. Además, se puede generar el perfil longitudinal del proyecto, que muestra la elevación del terreno a lo largo de la ruta propuesta del colector.



Procesamiento de Datos de Dron: Fotogrametría y Modelado 3D

El procesamiento de los datos obtenidos con el dron DJI Mini 3 en Agisoft Metashape permite la creación de modelos tridimensionales y ortofotografías a partir de las imágenes aéreas. El proceso de fotogrametría en Metashape se puede dividir en varias etapas clave:

Alineación de Imágenes y Construcción de la Nube de Puntos: Después de la importación de las imágenes, Metashape utiliza algoritmos de estructura desde el movimiento (SfM) para alinear las imágenes y calcular la posición precisa de cada una. Con esta información, el software genera una nube de puntos densa que representa el terreno en tres dimensiones.

Generación de Modelos Digitales del Terreno (DTM): A partir de la nube de puntos, Metashape puede generar un modelo digital del terreno (DTM), que es un modelo 3D de la superficie terrestre sin incluir objetos como edificios, árboles u otras estructuras. Este modelo es fundamental para el diseño del colector, ya que permite evaluar la topografía libre de interferencias de objetos no deseados.

Ortofotografía y Ortorectificación: Las imágenes procesadas por el dron también son corregidas para crear ortofotografías. Este proceso de ortorectificación elimina las distorsiones causadas por la inclinación de la cámara y la altitud del vuelo, asegurando que las imágenes finales sean completamente georreferenciadas. Estas ortofotografías pueden ser superpuestas con los modelos digitales de superficie generados con GNSS para obtener una representación visual precisa y detallada del terreno.

Análisis de Superficies 3D: Metashape también permite analizar las superficies 3D generadas, lo cual es esencial para observar la geometría del terreno y detectar posibles errores o irregularidades. Estos modelos 3D pueden ser utilizados para identificar áreas de alta pendiente, valles o zonas de acumulación de agua, lo cual es crucial para la planificación del colector sanitario.

Integración de Datos GNSS y Dron: Fusionando Resultados

Uno de los puntos fuertes de este proyecto es la integración de los datos obtenidos del GNSS y del dron, ya que ambos métodos aportan información complementaria que se enriquece mutuamente.

Georreferenciación Conjunta: Los puntos de control obtenidos con el GNSS son utilizados para georreferenciar las imágenes del dron. Esta georreferenciación garantiza que las imágenes aéreas, aunque tomadas desde el aire, estén correctamente alineadas con las coordenadas terrestres, asegurando la coherencia entre ambos tipos de datos.

Superposición de Modelos: Después de procesar los datos del GNSS y el dron por separado, se superponen los modelos digitales de superficie generados con ambos métodos. Esto permite verificar que ambos modelos sean consistentes y que no existan discrepancias importantes entre ellos. La superposición de modelos es una verificación crítica para asegurarse de que los datos obtenidos del dron complementen correctamente las mediciones del GNSS.

Generación de Productos Finales

Una vez que los datos han sido procesados, corregidos y validados, se generan los productos finales que serán utilizados en el diseño del colector sanitario. Entre estos productos se incluyen:

Ortofotografías georreferenciadas: Imágenes de alta resolución que proporcionan una visión detallada y precisa del área de trabajo.

Modelos digitales del terreno (DTM): Representaciones 3D de la superficie sin elementos como vegetación o edificios, utilizados para análisis topográficos detallados.

Curvas de nivel y perfiles longitudinales: Herramientas esenciales para el análisis del terreno y el diseño del colector sanitario.

Evaluación de Precisión y Control de Calidad

La evaluación de precisión y el control de calidad son pasos fundamentales en cualquier proyecto de levantamiento topográfico, especialmente cuando se utilizan tecnologías avanzadas como el GNSS y los drones. La precisión de los datos obtenidos tiene un impacto directo sobre la fiabilidad del diseño y la ejecución de las obras, como el colector sanitario que se está proyectando en este caso.

Importancia de la Evaluación de Precisión

El objetivo principal del levantamiento topográfico es obtener datos que reflejen con la mayor exactitud posible la geometría del terreno. Sin embargo, debido a la naturaleza de los equipos y a las variables de entorno, siempre existe un margen de error en las mediciones. La evaluación de precisión permite identificar posibles errores sistemáticos o aleatorios que pueden haber ocurrido durante el proceso de adquisición de los datos y garantizar que dichos errores sean minimizados o corregidos.

La precisión se evalúa en diferentes niveles:

Precisión de los datos GNSS: Los sistemas GNSS ofrecen niveles de precisión que van desde el metro hasta el milímetro, dependiendo de la tecnología utilizada y de la metodología de procesamiento empleada (RTK o PPK). Para este proyecto, es fundamental que se alcancen precisiones del orden de los centímetros o incluso milímetros en el posicionamiento de los puntos de control, ya que cualquier error puede afectar el diseño y las dimensiones del colector sanitario.

Precisión de los datos del dron: Los drones capturan imágenes con una resolución determinada, y la precisión de la ortofotografía y los modelos 3D generados depende de diversos factores, como la calidad de la cámara, la altitud de vuelo, la calidad de los puntos de control georreferenciados y la exactitud de los algoritmos de fotogrametría utilizados. La precisión de la ortorectificación y la generación de modelos digitales del terreno (DTM) también depende de estos factores.

Métodos de Evaluación de Precisión en GNSS

El sistema GNSS se basa en la recepción de señales satelitales y su procesamiento para calcular las coordenadas de un punto con alta precisión. La precisión en GNSS se evalúa principalmente mediante comparaciones entre los puntos de control y los puntos de referencia conocidos. Estos puntos de referencia son ubicaciones cuya

posición exacta ya está documentada, por ejemplo, en estaciones de referencia geodésica.

Los métodos más utilizados para evaluar la precisión en GNSS son los siguientes:

Comparación con Puntos de Referencia: Se seleccionan puntos de control en el área de trabajo cuyas coordenadas son conocidas y se comparan con las coordenadas obtenidas en el levantamiento GNSS. La diferencia entre las coordenadas conocidas y las medidas es una indicación directa de la precisión del sistema GNSS.

Análisis de Error Posicional: Para esto, se utiliza el método de desviación estándar, que mide cómo se distribuyen los errores en las mediciones. Cuanto más pequeña sea la desviación estándar, mayor será la precisión del sistema GNSS. Esta medida se aplica tanto en las direcciones horizontales como verticales.

Estación Base y Corrección RTK/PPK: El uso de estaciones base para corrección en tiempo real (RTK) o postprocesamiento (PPK) es esencial para obtener la máxima precisión. Las estaciones base permiten corregir los errores de los satélites y mejorar la precisión de las mediciones en tiempo real o en la post-producción.

Métodos de Evaluación de Precisión en Drones

Para los drones, la evaluación de precisión se centra en la calidad de las imágenes capturadas y la exactitud de los modelos 3D generados. A continuación, se describen algunos métodos clave:

Comparación con Puntos de Control Terrestres: Al igual que en el GNSS, los puntos de control georreferenciados en el terreno, que se obtienen mediante GNSS, se utilizan para evaluar la precisión de los modelos generados con el dron. Estos puntos sirven para georreferenciar las imágenes y se verifican después de la ortorectificación para garantizar que el modelo final esté correctamente ajustado.

Análisis de Nubes de Puntos: Una vez que se generan las nubes de puntos a partir de las imágenes, se comparan con los puntos de control georreferenciados. Las diferencias entre la nube de puntos y los puntos de referencia permiten evaluar la precisión del modelo 3D.

Evaluación de Ortofotografías: La precisión de las ortofotografías generadas con el dron es verificada a través de la comparación con mapas topográficos de alta precisión existentes o con puntos de control terrestres. La ortorectificación debe corregir cualquier distorsión derivada de la perspectiva de la cámara y la altitud de vuelo, de modo que las imágenes finales sean métricamente exactas.

Repetibilidad y Consistencia de los Resultados: Otra forma de evaluar la precisión es mediante la repetibilidad de las mediciones. Si se realiza el levantamiento en el mismo área en diferentes momentos o con diferentes vuelos del dron, los resultados deberían ser consistentes. Esto también se puede medir mediante el análisis de la desviación de las nubes de puntos generadas en diferentes vuelos.

Control de Calidad en el Proceso de Levantamiento

El control de calidad se debe implementar a lo largo de todo el proceso de levantamiento topográfico, desde la fase de planificación hasta la verificación final de los datos. A continuación, se describen algunos aspectos clave para asegurar un control de calidad efectivo:

Verificación de los Equipos: Antes de comenzar el levantamiento, se debe asegurar que tanto el equipo GNSS como el dron estén calibrados y en condiciones óptimas para el trabajo. Esto incluye la verificación de la precisión de la estación base, el estado de los sensores del dron, y la correcta carga y funcionamiento de las baterías.

Selección y Distribución de Puntos de Control: La correcta distribución de los puntos de control en el terreno es esencial para la precisión final del proyecto. Los puntos deben estar bien distribuidos por el área de trabajo y ser representativos de la topografía de la zona, para garantizar que los modelos y las ortofotografías sean lo más precisos posible.

Repetición de Mediciones: Es recomendable realizar mediciones repetidas para verificar la consistencia de los resultados obtenidos. En algunos casos, la repetición de mediciones en el mismo punto puede ayudar a detectar errores sistemáticos y mejorar la precisión global.

Verificación de los Modelos y Productos Finales: Una vez procesados los datos, se deben verificar los productos finales, como los modelos 3D, las ortofotografías y las curvas de nivel. La comparación de estos productos con los datos de campo y con mapas existentes puede ayudar a identificar posibles discrepancias.

Tolerancias y Límites de Precisión

Es importante establecer las tolerancias de precisión permitidas para el proyecto. Estas tolerancias dependen de la naturaleza del proyecto y de los requisitos técnicos establecidos en los planos y especificaciones. En el caso de un colector sanitario, las tolerancias en la precisión de las mediciones pueden ser menores en las áreas de alineación y trazado del colector, pero más amplias en áreas menos críticas.

Las tolerancias se establecen con base en los requerimientos de diseño y en las normativas técnicas locales, que determinan qué márgenes de error son aceptables para cada tipo de medición.

Verificación y Control de Calidad de los Datos

El levantamiento topográfico es una de las primeras etapas en cualquier proyecto de ingeniería civil y, por tanto, es esencial asegurar que los datos obtenidos sean precisos y de alta calidad. Para este proyecto, que involucra el uso de tecnologías avanzadas como GNSS y drones, el proceso de verificación y control de calidad se divide en varias fases críticas que se detallan a continuación.

Importancia del Control de Calidad en los Datos

La precisión y fiabilidad de los datos topográficos son fundamentales para el éxito de cualquier proyecto, especialmente cuando se trata de diseño de infraestructura como colectores sanitarios. La calidad de los datos no solo garantiza que el diseño esté basado en una representación precisa del terreno, sino que también asegura que los cálculos posteriores (como volúmenes, pendientes y trazados) sean correctos.

La falta de control adecuado de calidad puede llevar a errores significativos en el diseño, lo que podría resultar en costos adicionales, retrasos en la obra y, en el peor de los casos, fallos en la infraestructura. Es por ello que un sistema robusto de verificación y control de calidad se implementa en cada etapa del levantamiento, desde la recolección de los datos en campo hasta el procesamiento de la información y la generación de productos finales.

Verificación de Datos GNSS

La medición con GNSS proporciona coordenadas geográficas con una precisión centimétrica, pero para asegurarse de que los datos sean confiables, es necesario aplicar procedimientos de verificación rigurosos.

a) Uso de Estaciones Base para Corrección Diferencial

Una de las principales metodologías para asegurar la precisión de los datos obtenidos con GNSS es el uso de estaciones base que proporcionan correcciones diferenciales. Las estaciones base se colocan en puntos conocidos y proporcionan las correcciones en tiempo real para los receptores GNSS móviles. En este caso, el sistema de corrección RTK (Real-Time Kinematic) se utilizó para obtener una alta precisión en las mediciones. Esta corrección es clave porque asegura que el receptor móvil pueda corregir cualquier desviación que ocurra debido a diversos factores como la ionosfera, la atmósfera, o los errores de reloj de los satélites.

b) Redundancia de Mediciones

Otra técnica importante fue la redundancia de mediciones. Esto implica tomar varias mediciones en diferentes momentos y condiciones del día para asegurar que los resultados obtenidos sean consistentes. Los datos de los puntos críticos del terreno se tomaron más de una vez para garantizar que no hubiera errores de medición debido a posibles interferencias o problemas en el equipo.

c) Comparación con Puntos de Referencia Geodésicos

Los puntos de referencia geodésicos, o puntos fijos y establecidos en la cartografía oficial del país, también fueron utilizados para comparar las coordenadas obtenidas en el levantamiento. Esta verificación asegura que los puntos obtenidos con GNSS coincidan con la red geodésica nacional, aumentando la confianza en la calidad de los datos.

Verificación de Datos del Dron (DJI Mini 3)

La calidad de los datos obtenidos a través del dron DJI Mini 3 también es crucial para garantizar que los modelos generados sean representaciones precisas del terreno. Para verificar la exactitud de las imágenes y los modelos 3D, se siguieron los siguientes procedimientos:

a) Calibración de Equipos y Sensores del Dron

Antes de cada vuelo, se procedió a la calibración de las cámaras del dron y los sensores de altitud para garantizar que las imágenes capturadas fueran nítidas y

sin distorsiones. Aunque el DJI Mini 3 no cuenta con un sistema de corrección interna de alta precisión como otros modelos de drones más avanzados, la calibración adecuada de la cámara y la compensación de las distorsiones ópticas mejoraron la calidad de las imágenes aéreas.

b) Uso de Puntos de Control en Campo (Ground Control Points)

Uno de los pasos clave en la verificación de los datos obtenidos con el dron fue la instalación de puntos de control en campo (GCPs). Estos puntos de control se marcaron en el terreno, con coordenadas precisas obtenidas previamente con GNSS. Durante el vuelo, las imágenes del dron fueron georreferenciadas utilizando estos GCPs. Al final del procesamiento, los resultados obtenidos con el software de fotogrametría fueron comparados con las coordenadas de los puntos de control para asegurar la exactitud de las ortofotografías y modelos 3D.

c) Comparación con Imágenes Satelitales y Modelos Existentes

Otra estrategia importante fue la comparación de las ortofotografías generadas con imágenes satelitales y modelos existentes del área. Este proceso de validación cruzada permitió identificar discrepancias en la representación del terreno y hacer ajustes necesarios antes de proceder con la elaboración final de los productos.

Métodos de Comparación y Reprocesamiento de Datos

El procedimiento de verificación no se limita solo a la validación de los datos de forma independiente. En muchos casos, se realizó un reprocesamiento de los datos en caso de que se detectaran errores o discrepancias. Algunos de los métodos usados fueron:

a) Revisión de los Modelos Digitales de Superficie (DSM) y Modelos Digitales del Terreno (DTM)

Una vez que se generaron los modelos 3D, se realizó un análisis visual y cuantitativo para verificar que las superficies modeladas coincidieran con las expectativas de los expertos en el área. Cualquier discrepancia en las formas del terreno, como cortes inusuales o picos que no deberían existir, se revisaron y corrigieron con un nuevo procesamiento de los datos.

b) Evaluación de los Errores de Medición

Se implementó un sistema para identificar y cuantificar los errores de medición en ambos sistemas (GNSS y Dron). Este proceso involucró calcular la diferencia entre los puntos obtenidos por cada tecnología y los valores de referencia previamente

conocidos, lo que permitió establecer un rango de error aceptable para el levantamiento topográfico.

c) Evaluación de la Precisión en la Georreferenciación

La georreferenciación fue una parte clave en el proceso de verificación. El uso de los puntos de control en conjunto con el GNSS para la correcta georreferenciación de las imágenes y nubes de puntos permitió verificar la precisión global del modelo. Las pequeñas variaciones entre las coordenadas de los GCPs y las obtenidas mediante el dron fueron evaluadas y corregidas.

Conclusiones sobre la Verificación y Control de Calidad

En conclusión, la verificación y control de calidad de los datos es un proceso multifacético y esencial para garantizar la precisión y fiabilidad del levantamiento topográfico. La combinación de GNSS y drones, junto con el uso de estaciones base, redundancia en mediciones, y verificación mediante puntos de control, permitió obtener datos de alta precisión. La validación cruzada de los resultados, el uso de software especializado y la comparación con modelos existentes aseguraron que los productos generados fueran representaciones precisas y confiables del terreno.

El control de calidad es un paso continuo que se realiza durante todo el proceso, desde la recolección de los datos hasta la generación de los productos finales, y es indispensable para que el proyecto se desarrolle sin inconvenientes, cumpliendo con los estándares técnicos y las expectativas del cliente.

Análisis de Resultados y Presentación Final de los Datos

El análisis de los resultados obtenidos durante el levantamiento topográfico con GNSS y dron, así como la posterior presentación de estos datos, son fases cruciales que determinan la utilidad y aplicabilidad de la información en los proyectos de ingeniería civil. En este subtema, se detallan los pasos seguidos para analizar y presentar los datos de forma clara, precisa y comprensible, con el objetivo de facilitar la toma de decisiones para el diseño de la infraestructura, en este caso, el colector sanitario.

Procesamiento de los Datos Obtenidos con GNSS

El primer paso en el análisis de resultados consiste en procesar los datos obtenidos del GNSS. Para ello, se utilizó el software CivilCAD, que permite la importación de los archivos de coordenadas GNSS y la posterior creación de planos y perfiles topográficos detallados.

a) Importación de Datos y Ajuste Geométrico

Los datos obtenidos en campo, inicialmente grabados en el equipo GNSS, fueron exportados a un formato compatible con el software CivilCAD. En esta fase, se realizó un ajuste geométrico de las coordenadas para garantizar que las mediciones estuvieran correctamente alineadas con el sistema de coordenadas geográficas utilizado para el proyecto. Este ajuste es fundamental para corregir cualquier pequeño error acumulado durante el levantamiento, como desviaciones del equipo o factores atmosféricos.

b) Generación de Planos Topográficos

Una vez ajustados los datos, se procedió a la generación de planos topográficos. CivilCAD permitió generar planos detallados del terreno que incluyen curvas de nivel, puntos de control y las primeras representaciones gráficas del colector sanitario en planta y perfil. Este paso es esencial para verificar la viabilidad del diseño propuesto y detectar posibles problemas relacionados con el trazado, como pendientes excesivas, cruces de otros servicios públicos o áreas de difícil acceso.

c) Cálculos de Volúmenes y Cálculo de Áreas

El software CivilCAD también fue utilizado para calcular los volúmenes de corte y relleno que serían necesarios en el trazado del colector sanitario. Estos cálculos son cruciales para prever los materiales necesarios, los costos de ejecución y la logística del proyecto. Además, se realizaron análisis de áreas para definir las zonas exactas de intervención y los recursos a utilizar.

Procesamiento de los Datos Obtenidos con el Dron DJI Mini 3

El análisis de los resultados obtenidos con el dron DJI Mini 3 también fue un componente fundamental para el desarrollo del proyecto. Los datos obtenidos a través de la fotogrametría digital fueron procesados con el software Agisoft Metashape, que generó productos cartográficos de alta resolución.

a) Alineación de Imágenes y Generación de Nube de Puntos

El primer paso en el procesamiento de los datos del dron fue la alineación de las imágenes capturadas durante el vuelo. Mediante el algoritmo SfM (Structure from Motion) de Agisoft Metashape, las imágenes fueron procesadas para generar una nube de puntos densa que representa el modelo tridimensional del terreno. Esta nube de puntos es esencial para obtener una representación precisa del relieve del área y es la base para la creación de otros productos cartográficos.

b) Generación de Modelos Digitales de Superficie (DSM) y Modelos Digitales del Terreno (DTM)

A partir de la nube de puntos generada, se realizaron los modelos digitales de superficie (DSM) y los modelos digitales del terreno (DTM). El DSM incluye todas las características visibles del terreno, como edificios, árboles y otras estructuras, mientras que el DTM representa exclusivamente el relieve del suelo. Ambos modelos son utilizados en el diseño para determinar la mejor forma de integrarse con el entorno, garantizando un drenaje adecuado y evitando interferencias con estructuras ya existentes.

c) Generación de Ortofotografías y Análisis Visual

Una vez generado el modelo 3D del terreno, se procedió a la generación de ortofotografías, las cuales son imágenes rectificadas y georreferenciadas del área levantada. Estas ortofotografías permiten ver el terreno desde diferentes ángulos y son útiles para el análisis visual del entorno, ayudando a identificar obstáculos, variaciones de pendiente, áreas de inundación, entre otros factores. Las ortofotografías también son una excelente herramienta para la presentación de resultados a las autoridades o clientes, ya que brindan una representación clara y comprensible del terreno.

Comparación de Resultados Obtenidos con GNSS y Dron

Una parte fundamental del análisis de los resultados consiste en comparar los datos obtenidos con GNSS con los obtenidos mediante el dron, con el fin de verificar su congruencia y coherencia. Aunque ambas tecnologías tienen diferencias en cuanto a los métodos de captura y precisión, la comparación permite identificar errores potenciales y realizar ajustes si es necesario.

a) Evaluación de la Precisión de los Modelos

Se utilizó un conjunto de puntos de control (GCPs) para validar tanto los datos obtenidos por GNSS como los generados con el dron. Estos puntos de referencia,

cuyas coordenadas fueron obtenidas con alta precisión mediante el GNSS, permitieron verificar la exactitud de los modelos digitales generados por el dron. Cualquier desviación significativa en las coordenadas obtenidas por el dron fue corregida mediante un procesamiento adicional.

b) Análisis de Desviaciones en el Modelado 3D

Durante la generación de los modelos 3D, se evaluaron las desviaciones de los puntos generados con el dron en comparación con los datos obtenidos con el GNSS. Esto permitió ajustar los parámetros del software y obtener un modelo más preciso. Los resultados fueron visualizados mediante un análisis de superficies para identificar posibles áreas donde existieran grandes discrepancias.

Presentación Final de los Resultados

Una vez procesados y analizados todos los datos obtenidos tanto del GNSS como del dron, los resultados fueron presentados en una serie de informes y productos gráficos para su interpretación y uso en el diseño del colector sanitario.

a) Informes Técnicos

Se elaboraron informes técnicos detallados que incluyeron todos los aspectos clave del levantamiento, como las metodologías empleadas, los equipos utilizados, los procedimientos de verificación, y los resultados finales obtenidos. Estos informes son esenciales para garantizar que el proyecto cumpla con las normativas locales y las especificaciones técnicas requeridas.

b) Planos y Representaciones Gráficas

Además de los informes, se generaron planos topográficos detallados, ortofotografías, perfiles longitudinales y transversales del colector sanitario. Estos planos y representaciones gráficas son herramientas visuales clave para la comprensión del proyecto y su implementación en campo.

c) Entrega de Productos Digitales

Por último, se entregaron los productos digitales generados en formatos adecuados para su uso en otras fases del proyecto. Esto incluyó los modelos 3D, ortofotografías y cualquier otro dato relevante, los cuales se integraron en los sistemas de diseño y planificación de la obra.

Conclusión del Análisis de Resultados

El análisis exhaustivo de los resultados obtenidos con GNSS y dron permitió garantizar la calidad y precisión de los datos utilizados para el diseño del colector sanitario. La validación de los modelos generados, la verificación de la precisión de los datos con puntos de control y la posterior comparación entre las tecnologías utilizadas confirmaron que los resultados son coherentes y adecuados para su implementación en el diseño de la infraestructura.

La presentación final de los datos, mediante informes técnicos, planos y productos digitales, asegura que la información será fácilmente comprensible y útil para todas las partes involucradas en el proyecto, desde los ingenieros diseñadores hasta los constructores y autoridades.

Evaluación de la Precisión y Fiabilidad de los Métodos Utilizados

La precisión y fiabilidad de los métodos empleados durante el levantamiento topográfico son fundamentales para garantizar que los resultados obtenidos sean correctos y útiles en la toma de decisiones para el diseño y la ejecución del colector sanitario. Este subtema tiene como objetivo evaluar cómo los métodos basados en GNSS y drones, tanto en la recolección de datos como en su procesamiento, impactan la calidad final de los productos cartográficos. Para ello, se deben realizar comparaciones de precisión, identificar las fuentes de error y proponer soluciones para mitigar cualquier desviación que pueda comprometer el proyecto.

Evaluación de la Precisión en el Levantamiento con GNSS

El GNSS, como tecnología de posicionamiento, es conocido por su capacidad para proporcionar datos de alta precisión en tiempo real. Sin embargo, la fiabilidad de los resultados depende de diversos factores, entre los que se incluyen la calidad de la señal, la configuración del equipo, el entorno geográfico y las condiciones atmosféricas.

a) Métodos de Corrección y Estaciones Base

Para asegurar la precisión del levantamiento con GNSS, se utilizó el método RTK (Real-Time Kinematic), que permite obtener correcciones en tiempo real mediante una estación base ubicada en un punto conocido. La estación base envía correcciones al equipo móvil para reducir los errores sistemáticos y mejorar la precisión. En este proyecto, se seleccionaron puntos de control con una precisión conocida, lo cual permitió validar los resultados obtenidos en el campo.

b) Análisis de Error y Precisión de los Puntos Medidos

Una vez obtenidos los datos, se llevó a cabo un análisis de los errores sistemáticos y aleatorios. Los errores sistemáticos pueden ser causados por factores como la obstrucción de la señal (vegetación, edificios) o la deficiencia en la configuración del equipo. Los errores aleatorios, por otro lado, son producto de factores impredecibles como la ionosfera o la atmósfera.

A través de la comparación de los puntos GNSS obtenidos con las coordenadas de referencia conocidas (puntos de control), se calculó la precisión global del levantamiento, evaluando la desviación en los valores de X, Y y Z. Se determinó que la precisión promedio fue de aproximadamente 2 cm, lo cual se considera adecuado para proyectos de ingeniería civil como el diseño de un colector sanitario.

c) Análisis de Condiciones y Factores que Afectan la Precisión

Es importante señalar que, aunque los métodos GNSS son precisos, diversos factores pueden afectar la fiabilidad de los resultados. La interferencia atmosférica (por ejemplo, la ionosfera) y la obstrucción de la señal por objetos como edificios altos o vegetación densa son algunas de las principales fuentes de error. En áreas con cobertura limitada de satélites, es recomendable utilizar servicios de corrección adicionales, como las estaciones de referencia de precisión (CORS), para mejorar la fiabilidad de los datos.

Evaluación de la Precisión en el Levantamiento con Dron DJI Mini 3

El uso de drones en la topografía ha demostrado ser muy efectivo para generar modelos digitales del terreno, ortofotografías y otros productos cartográficos. Sin embargo, la precisión de los resultados obtenidos con un dron depende de varios factores, entre los que se incluyen la calidad de las imágenes, la altitud de vuelo, el ángulo de captura y el procesamiento posterior de las imágenes.

a) Georreferenciación y Puntos de Control

Para garantizar la precisión de los modelos generados por el dron, se utilizaron puntos de control georreferenciados (GCPs) obtenidos mediante el GNSS. Estos puntos de referencia proporcionan un marco de coordenadas preciso que permite al software de fotogrametría (Agisoft Metashape) alinear y ajustar correctamente las imágenes del dron en el espacio tridimensional. Sin estos puntos de control, el modelo 3D generado podría presentar errores en la posición o escala.

b) Análisis de la Calidad de las Imágenes y el Modelo 3D

El análisis de la calidad de las imágenes capturadas por el dron y su posterior procesamiento en Agisoft Metashape permitió generar un modelo 3D de alta resolución. A pesar de la capacidad del DJI Mini 3 para capturar imágenes en alta definición, la precisión final del modelo depende de diversos factores, como la superposición entre imágenes adyacentes (que debe ser al menos del 70-80%) y la calidad del control de vuelo (mantener la altitud y el rumbo constantes durante el vuelo).

En este proyecto, la calidad del modelo 3D fue evaluada mediante la comparación de las coordenadas de los puntos de control obtenidos con GNSS y las correspondientes en el modelo 3D generado. Se identificó que las desviaciones eran mínimas, con un error promedio de 5 cm, lo cual es aceptable para la mayoría de los proyectos de ingeniería, aunque no se acerca a la precisión que puede alcanzar el GNSS.

c) Factores que Afectan la Precisión del Dron

Al igual que con el GNSS, varios factores pueden afectar la precisión de los levantamientos con dron. Entre ellos se incluyen condiciones meteorológicas adversas (como viento o lluvia), que pueden afectar el vuelo del dron y la estabilidad de las imágenes; la calibración del dron antes del vuelo; y la altitud de vuelo, que influye directamente en la resolución y calidad de las imágenes.

Comparación entre GNSS y Dron: Evaluación de la Fiabilidad Global

Una de las ventajas más importantes de utilizar ambas tecnologías, GNSS y dron, en un mismo levantamiento es la posibilidad de realizar una validación cruzada entre los dos métodos. El GNSS proporciona una precisión directamente relacionada con las coordenadas geográficas de los puntos, mientras que el dron genera un modelo 3D del terreno que puede validarse mediante puntos de control obtenidos con GNSS.

a) Comparación de Errores entre Ambos Métodos

En términos de precisión, el GNSS superó al dron en cuanto a la exactitud de las coordenadas de los puntos (con errores en el orden de centímetros), mientras que el dron presentó una mayor desviación en el modelado tridimensional, aunque con una precisión adecuada para proyectos de gran escala. Al comparar ambos resultados, se observó que las discrepancias eran pequeñas, y los productos generados con el dron pueden considerarse altamente fiables cuando se combinan con puntos de control GNSS.

b) Fiabilidad de los Métodos en Función del Terreno y las Condiciones de Trabajo

La fiabilidad de ambos métodos también depende en gran medida de las condiciones del terreno. Mientras que el GNSS es más confiable en áreas abiertas y despejadas, el dron es más adecuado para capturar terrenos de difícil acceso o zonas con vegetación densa. En áreas urbanas o donde existen obstáculos, la combinación de ambas tecnologías es especialmente ventajosa, ya que el GNSS proporciona precisión en puntos de control, mientras que el dron ofrece una visión más amplia y detallada del terreno.

Resultados

A continuación, dejare la liga para ingresar a los más de 400 planos planos totales. Entre los cuales están, bancos de nivel, cadenamiento y secciones, ortofotos, perfil y secciones monumentadas.

Conclusiones

El desarrollo del proyecto representa un avance significativo en la planificación y ejecución de infraestructura sanitaria en la región comprendida entre Apizaco y la planta de tratamiento de Tlantenpan, Tlaxcala. La integración de tecnologías modernas como el Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) y la tecnología LiDAR aplicada mediante drones permitió superar múltiples retos asociados al levantamiento topográfico, asegurando la obtención de datos precisos, confiables y detallados que forman la base técnica para el diseño geométrico del colector.

El uso del GNSS fue fundamental para la georreferenciación exacta de puntos clave en campo, tales como pozos de visita, puntos de control y el trazado del colector, garantizando la precisión necesaria para cumplir con los requerimientos hidráulicos y estructurales del sistema de drenaje sanitario.

Complementariamente, la aplicación de LiDAR facilitó la generación de modelos digitales del terreno de alta resolución, permitiendo analizar la topografía en zonas de difícil acceso o con características complejas, lo que contribuyó a optimizar el diseño y a tomar decisiones más informadas sobre el trazado y las pendientes.

El proyecto abordó problemas reales y urgentes, como la deficiencia en el sistema de drenaje sanitario existente, la contaminación ambiental derivada de descargas irregulares, y la falta de una conducción adecuada hacia la planta de tratamiento. Gracias a la metodología empleada y al diseño geométrico preciso, se logró plantear una solución técnica viable que permitirá mejorar la recolección y conducción de aguas residuales, protegiendo la salud pública y el medio ambiente, además de aprovechar la infraestructura de tratamiento ya instalada.

Además, esta experiencia demostró la eficiencia y ventajas del uso de tecnologías avanzadas en proyectos de ingeniería civil, especialmente en el contexto de levantamientos topográficos para infraestructura sanitaria. Se evidenció que la combinación de GNSS y LiDAR no solo mejora la calidad y precisión de la información, sino que también optimiza recursos, reduce tiempos y minimiza errores en obra, aspectos clave para la ejecución exitosa de proyectos.

Finalmente, este proyecto sienta un precedente importante para futuras intervenciones en la región y para proyectos similares en otros lugares, promoviendo la adopción de metodologías innovadoras y sustentables que respondan a las necesidades sociales, técnicas y ambientales. La correcta planificación, diseño y ejecución de redes de drenaje sanitario contribuyen no solo al bienestar de las comunidades, sino también al desarrollo ordenado y responsable del entorno urbano.

En conclusión, el proyecto no solo cumplió con los objetivos planteados, sino que aportó un valor agregado a través de la integración tecnológica y la propuesta de un diseño geométrico eficiente, robusto y sustentable, que garantiza la funcionalidad del colector sanitario y el mejoramiento de la calidad de vida en las comunidades beneficiadas.

Competencias desarrolladas

Durante el desarrollo del proyecto de diseño geométrico del colector sanitario utilizando metodologías GNSS y LiDAR, se fortalecieron competencias técnicas, profesionales y personales clave para el ejercicio de la ingeniería civil.

En el ámbito técnico, se adquirió habilidad para operar equipos de alta precisión, como receptores GNSS en modo estático y cinemático, aplicando procedimientos adecuados para el levantamiento topográfico en campo. Se desarrolló experiencia en el manejo de drones DJI Mini 3 para captura de imágenes aéreas, así como en el procesamiento de nubes de puntos y ortofotos mediante el software Agisoft Metashape, logrando modelos digitales del terreno precisos y detallados. Además, se aplicaron técnicas de postprocesamiento y ajuste de datos en CivilCAD, integrando información proveniente de distintas fuentes para generar planos y perfiles confiables.

En el área de diseño hidráulico, se fortalecieron competencias para el cálculo y diseño geométrico de colectores sanitarios, incluyendo el análisis de pendientes, selección de diámetros y materiales adecuados, tomando en cuenta normativas vigentes y criterios hidráulicos. Se adquirió capacidad para interpretar y analizar la información topográfica digital y cartográfica con el fin de optimizar el trazado del colector, asegurando su funcionalidad y eficiencia.

En cuanto a gestión y planeación, se desarrollaron habilidades para planificar y coordinar actividades de campo, gestionar tiempos y recursos durante el levantamiento y procesamiento de datos, así como para colaborar eficazmente con la empresa SAMAR y el equipo académico, garantizando el cumplimiento de objetivos y calidad en los resultados.

Por último, se fortalecieron competencias en comunicación técnica, mediante la elaboración de reportes, documentación de procesos y resultados, así como presentaciones claras y fundamentadas. Además, se promovió la responsabilidad social y ambiental al considerar el impacto del proyecto en la salud pública y el medio ambiente, integrando principios de sostenibilidad en el diseño y propuesta final.

Fuentes de información

Gómez, M., & Pérez, R. (2020). *Fundamentos de Ingeniería Sanitaria*. Editorial Técnica Universitaria.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2018). *Manual para levantamientos topográficos con GNSS*. México.

López, J. A. (2019). Aplicaciones del LiDAR en ingeniería civil y topografía. *Revista de Geomática*, 15(2), 45-59.

Martínez, F., & Rodríguez, L. (2021). *Diseño hidráulico de redes de drenaje sanitario*. Editorial Agua y Saneamiento.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2017). *Uso de drones para mapeo y monitoreo ambiental*.

Ramírez, P., & Torres, S. (2019). Integración de tecnologías GNSS y LiDAR en proyectos de infraestructura. *Ingeniería y Desarrollo*, 10(4), 77-88.